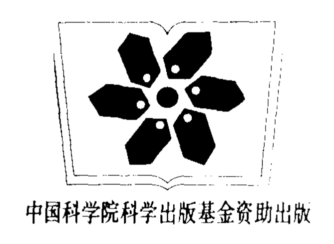
白鱀豚生物学及饲养与保护

陈佩薰 刘仁俊 王丁 张先锋 著

科学出版社





中国科学院科学出版基金资助出版

白鳘豚生物学及饲养与保护

陈佩薰　刘仁俊　王　丁　张先锋　著

科学出版社

1997

内 容 简 介

白鳘豚是我国长江特产的珍稀濒危物种、国家Ⅰ级保护动物。本书全面系统地总结了我国白鳘豚研究的科研成果和开展保护工作的实践经验。内容包括白鳘豚的分类学,形态学,声呐系统的功能及其他感觉能力,细胞遗传学、生理与生物化学,种群生态学,行为生物学,人工饲养,保护与拯救对策,长江中与白鳘豚共同生活的江豚等。书末有鲸类学名、英文名和中文名对照和图版(其中彩色照片图8版,黑白照片图28版)。本书反映了我国白鳘豚研究已处于世界淡水豚类研究的先进水平,对今后开展白鳘豚和其他鲸类动物的保护和研究具有重要学术价值和实用参考价值。

本书可供从事动物学、水生生物学、水产、野生动物保护、生物多样性、环境保护等领域的科研教学人员及有关科技管理干部和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

白鳘豚生物学及饲养与保护/陈佩薰等著. -北京:科学出版社,1996

ISBN 7-03-005650-7

Ⅰ.白… Ⅱ.陈… Ⅲ.①白鳘豚-生物学②白鳘豚-饲养管理③白鳘豚-保护 Ⅳ.Q959.841

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 17592 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1997年3月第一版 开本:787×1092 1/16

1997年3月第一次印刷 印张:16 3/4 插页:18

印数:1-1 200 字数:373 000

定价: 66.00 元

序

白鱀豚——中国人民心目中的长江女神，在漫长的历史长河中，曾经流传着许多美丽动人的传说。《聊斋志异》中白秋练与慕生的恋情就是生动的例子。虽然 2 000 多年前的古书《尔雅》中对白鱀豚已经有所记述，但长期以来白鱀豚一直被蒙上了一层神秘的面纱，它的生态学可以说是鲜为人知！

新中国成立以后才对白鱀豚有一些零星的研究，但对它的系统研究则始于 1978 年。在 10 多年时间里，中国科学家们的足迹踏遍长江中下游。他们长年探索，坚持实验，辛勤劳作，取得了举世瞩目的成就。现在我的同事们把这批珍贵的第一手资料整理成书，与世人共享，实在是一件幸事。

10 多年来，中国科学家们的研究工作主要是围绕着白鱀豚的保护问题展开的。他们对白鱀豚的栖息环境、分布范围、种群数量、活动规律等进行了长年的监测和研究，同时随着国民经济的发展，人类活动的加剧，使长江生态环境不断恶化，从而使白鱀豚的种群数量迅速减少。面对这一严峻的现实，科学家们提出了有效保护对策。本书详细记述了他们工作的全部结果和艰辛历程。

1980 年我的同事们揭开了在世界上首次成功饲养白鱀豚的序幕。蜚声海内外的明星白鱀豚“淇淇”已在中国科学院水生生物研究所安居近 16 年。许多科学家已经或正在为它贡献出他们的青春年华。“淇淇”也不负众望，为科学事业作出了不可磨灭的贡献。科学家们从“淇淇”和它的同伴身上研究了白鱀豚的饲养生物学、遗传学、生理生化学、行为生物学和声学。所有这些业绩将在本书中一并向读者汇报。

江豚是生活于长江的另一种鲸类，是国家二级保护动物。由于江豚与白鱀豚一起生活于同一环境——长江，所以江豚亦面临着白鱀豚已经面临的全部威胁。科学家们在研究白鱀豚的同时，也一起研究了江豚。这方面丰富的研究结果相信同样能引起读者的兴趣。

白鱀豚和江豚正在面临着人类活动的巨大威胁，其种群数量正在急剧减少，特别是白鱀豚，如不加强保护，将会在 25 年左右的时间内从地球上消失。白鱀豚的今天就是江豚的明天。要救护白鱀豚这种珍稀国宝，还面临着巨大的困难，科学家们亦面临着新的挑战。值得庆幸的是国家和地方各级政府，国内外有识之士已经行动起来。我在此预祝他们成功！

刘建康

1995 年 10 月，武汉

前　言

白鱀豚（*Lipotes vexillifer*）是生活在我国长江中的珍稀濒危物种。它是现存数量最少的一种淡水豚　早在中新世和上新世，白鱀豚的祖先曾经是一个广泛分布的繁盛物种，至今其后代仍存活在世上，尽管它经历了漫长的历史进程，但它们的内部结构和形态没有发生太大的变化，而中新世和上新世繁盛的大多数物种，现在已成为化石了，因此，我们称白鱀豚为“活化石”，它是研究生物进化史的一个重要依据。它的视力虽已退化，但声呐系统却特别发达，因此研究白鱀豚的生物学在仿生学上有着重大意义。白鱀豚的数量已不足 100 头了，今天这个物种已处于极为濒危状态，如不采取措施，要不了多少年白鱀豚将不复存在。根据我们多年的科学考察研究表明，白鱀豚数量的减少，不仅仅是因为它是一个古老而趋于衰败的物种，更重要的是与人类在长江中越来越频繁的经济活动有着密切关系。如长江的水利工程建设，渔业的发展，航运的发达，沿江工业造成的水体污染等，都直接或间接给白鱀豚的生存带来不利影响，而这些影响还在加剧，使白鱀豚正面临灭绝的危机。

白鱀豚的这种现状，已引起世人瞩目，并得到我国政府和国际野生动物保护组织的高度重视。我国政府已将白鱀豚列为一级保护动物，它的名字也被列入《国际濒危物种红皮书（IUCN Red Data Book)》、《国际濒危物种公约（附录一）(CITES，Appendix I)》以及《美国国家濒危物种法（ESA)》。

中国科学院在 1978 年组织了一个全国性白鱀豚生物学研究协作组，中国科学院水生生物研究所被指定为主持单位，参加单位有中国科学院生物物理研究所、中国科学院声学研究所以及南京师范学院（现南京师范大学）生物系，根据各单位研究的特长，进行了分工与合作，这个形式维持了约 5 年。

中国科学院水生生物研究所于 1978 年秋成立了一个由陈佩薰、刘仁俊、刘沛霖、林克杰 4 人组成的白鱀豚研究组。10 多年来，这个 4 人研究组发展到目前已有 20 余名科研、技术、管理人员的研究室；研究学科也由刚开始的形态学和生态学，发展到以物种保护为中心的多学科的、系统的研究。我们可将它划分为三个阶段：第一阶段(1978—1986 年)，系统地进行了白鱀豚基础学科研究。描述白鱀豚的形态结构特征；摸清种群现状，并分析数量变动的原因；总结人工饲养白鱀豚的经验（包括水质标准，饲料营养，血液生化指标，心电图等）；探讨行为节律及声呐系统的功能等。初步提出保护对策。1986 年 10 月在武汉中国科学院水生生物研究所召开的“淡水豚类生物学和物种保护”国际学术讨论会上，我们提出了 6 篇学术论文，基本概括了这一阶段的科研成果。第二阶段（1987—1990 年），除对前阶段工作加深研究外，着重落实保护措施的实施，着手建立长江新螺段（新滩口—螺山）白鱀豚自然保护区；对选定的湖北长江天鹅洲白鱀豚半自然保护区作本底调查，最后邀请国内有关专家及动物保护工作者共同进行可行性论证；并在该保护区内试养江豚成功。第三阶段（1991 年至现在），继续深入进行前段的基础学科研究，特别加强了白鱀豚遗传学研究工作；提出了我国白鱀豚保护

的总体规划及实施方案，并着手逐项付诸实施。现新螺段白鳖豚自然保护区和天鹅洲白鳖豚半自然保护区的建设已初具规模，正在加紧捕豚、引豚工作，同时这两个保护区已正式列为国家级白鳖豚自然保护区。此外，在白鳖豚保护研究中，加强了新技术、新手段的应用。

中国科学院水生生物研究所白鳖豚研究室，先后20余人参加了这项工作。除陈佩薰、刘仁俊、王丁、张先锋4人参加科研工作及分别整理撰写文稿外，参加科研技术工作的还有：华元渝、刘沛霖、林克杰、赵庆中、陈道权、王克雄、王小强、魏卓、杨健、姜新发、陈帆、龚伟明、张国成、朱海民、程万敏、李钟杰、官之梅、马建新、杨云霞、顾汉玥等。整个科研过程的录相、摄影工作，除部分照片由科研人员自己拍摄外，均由王小强承担。本书的资料和文字处理、文稿的编排和打印由张先锋、龚伟明、王克雄完成。还有一项值得提出来的工作，就是白鳖豚饲养设施，10多年来，我们饲养白鳖豚，从一个养鱼池发展到今天趋于现代化的白鳖豚饲养池设施，在这方面朱海民、赵祯祥是付出了极大劳动的。

白鳖豚研究室的科研工作能够顺利开展，它与国家科委、中国科学院、农业部和林业部、国家自然科学基金委员会及国家环保局等领导单位的大力支持是分不开的。我们的科研经费除由中国科学院下拨部分及获得一些项目基金外，还得到了方毅、陈慕华同志的热情支持，为我们募集了一笔资金（图版V，A、B）；日本国际协力事业团（Japan International Cooperation Agency，JICA）及江之岛（Enoshima）水族馆馆长由纪子（Yukiko Hori）也给我们提供了部分资金和设备，使我们的科研工作迅速发展，新白鳖豚馆加快建成，我们在此表示衷心感谢。

本书除收集了中国科学院水生生物研究所科技人员的研究成果外，还收集了中国科学院生物物理研究所吴奇久、李岐凤、冯文慧、梁长林，中国科学院声学研究所荆显英、肖友芙、景荣才，南京师范大学周开亚、钱伟娟、李悦民，东南大学华明龙等已发表的论文资料，他们的工作为此书的完善作出了贡献，在此表示谢意。

当前白鳖豚保护工作已为世人瞩目，我们希望广大关注白鳖豚命运的人们，能从这本书中获得对白鳖豚的认识，以便大家为拯救和保护这个古老又珍稀的物种而共同努力，同时也希望这本书能为填补我国尚属空白的鲸类科学作出贡献。

本书的完成，得到我们的老师刘建康院士多方面的支持与帮助；他还对本书稿进行了认真仔细的审查，并为本书作序。我们在此表示诚挚的感谢和敬意。

本书的出版得到中国科学院科学出版基金和香港海洋公园鲸豚保护基金会（Ocean Park Conservation Foundation，OPCF）的资助。我们在此表示衷心的感谢。

陈佩薰

1996年6月

Preface

Lipotes vexillifer (Baiji) is a rare and endemic mammal found only in the middle and lower reaches of the Yangtze River in China, and is one of the five freshwater dolphin species in the world. Paleontological studies showed that Baiji's ancestors flourished 20—30 million years ago, and one line survived to be the present Baiji, without much changes from its ancestral origin. Therefore, the Baiji is called a "living fossil". Since Baiji represents a branch on the tree of evolution, studies of Baiji evolution have a specific significance. For example, while Baiji has very small eyes with poor vision due to the turbidity and low visibility of the Yangtze River, it has developed a fine sonar system which adapts remarkably to this kind of environment. Baiji is also the rarest cetacean species in the world, with the number now less than 100. If no measures are to be taken, this lovely animal will disappear within tens of years. Our investigations showed that the dwindling of Baiji population was closely related to the economic development in and along the river, such as construction of hydroelectric projects, overfishing, 'transportation, and pollution, etc.. These kinds of developments are pushing Baiji to extinction.

The status of Baiji has attracted much attention the world over. The Chinese government has listed it among the nation's protected animals of the first order, and its name is also listed in "IUCN Red Data Book", "CITES, Appendix I", and "Endangered Species Act." The Chinese Academy of Sciences (CAS) organized a nation-wide Baiji research group in 1978 which consisted of the Institute of Hydrobiology of CAS (which was appointed as group leader), Institute of Biophysics of CAS, Institute of Acoustics of CAS, and Nanjing Normal College (now named Nanjing Normal University). This group worked together effectively for about 5 years.

The research group in the Institute of Hydrobiology established in the autumn of 1978 was expanded into a department in 1984. Its development could be divided in three periods. The first period (1978—1986): carried out basic cetological researches on Baiji, including description of morphology; investigation on population status; reasons of population dwindling; rearing Baiji in captivity (including water quality standard, nutrition of feeds, hematological biochemistry, and electric cardiography); behavior and acoustic features, etc. Preliminary conservation measures were proposed. We presented six papers in "the First Workshop on Biology and Conservation of the Platanistoid Dolphins" held at Wuhan in October of 1986, which basically summarized our research results obtained during the first period. The second period (1987—1990): besides carrying on the researches of the first period in a deep-going way, we started to implement conservation measures. The Yangtze Xinluo Section Baiji Nature Reserve (Xintankou-Luoshan section of Hubei Province) began to be established; base-line investigations on Tian-e-zhou (Swan Bar) Baiji Semi-natural Reserve were carried out. The finless porpoise was successfully reared in the reserve. The third period (1991—): in addition to the previous basic researches, the genetic study of Baiji was taken up; overall planning program and the plan for implementation of Baiji conservation proposed by us were adopted and carried out by the government. The nature reserve and the semi-natural reserve were approved by the central government as the national reserves, and started to function effectively in the conservation work of Baiji.

This book is divided into nine chapters. Chapter one deals with the records of Baiji in ancient history of China, Baiji's body form and evolution, and its taxonomic position. Chapter two presents the results of researches on Baiji's morphology and histology, including

its reproductive, respiratory, digestive, excretory, skeletal, nervous, and endocrine systems. Chapter three briefly introduces cetacean acoustics in general, and gives the details of Baiji's sound, sound production and detection, relationship between sound and behavior and environment. It also touches on Baiji's other sensory systems and their functions. Chapter four shows some preliminary results of studies about Baiji's cytogenetics, physiology and biochemistry which provide a basis for Baiji's rearing and reproduction research, and also some basic data for studying cetacean's evolution. Chapter five summarizes most results about Baiji's population ecology, which includes the Yangtze River's natural environment, Baiji's distribution, movement pattern, population structure and size, as well as effects of human activity on Baiji, etc. Chapter six describes Baiji's behavior, including behavior patterns, behavior rhythm, emotional coordination behavior between male and female, training, and learning capability, etc. Chapter seven summarizes our experiences on Baiji's rearing, including capture and transportation, prevention and cure of diseases, and water quality standard. For nearly two decades, we have been concentrating our efforts on the conservation of Baiji, and the arduous course of such efforts is summarized in chapter eight. The Yangtze finless porpoise, which is another cetacean species co-existing with Baiji, is introduced in chapter nine, for letting our readers have a whole picture of the cetacean animals in the Yangtze River.

The work described in this book could not be done without great support from the Chinese National Science and Technology Commission, the Chinese Academy of Sciences, the Ministry of Agriculture, the National Natural Science Foundation, and the National Environmental Protection Agency. Most funding came from the Chinese Academy of Sciences and the National Natural Science Foundation. The former state leaders, Mr. Fang Yi and Ms. Chen Muhua helped us raise some funding (picture IX-I, C, D). The Japan International Cooperation Agency (JICA) and the President and Director of the Japan Enoshima Aquarium, Ms. Yukiko Hori also provided us some funding and equipment. Many others, such as Drs. Stephen Leatherwood, Bernd Würsig, William Perrin, Toshio Kasuya, Toshiro Kamiya, Teruo Tobayama and many others helped us one way or another. All of them deserve our deepest gratitude, not only from us, but also from our lovely animal—Baiji.

Academician Prof. Liu Jiankang carefully read the manuscript of this book, and provided us many invaluable comments and suggestions. His hard work is sincerely appreciated.

We would like to offer our sincere gratefulness to the Publication Foundation of the Chinese Academy of Sciences and Ocean Park Conservation Foundation—OPCF in Hong Kong, for their funding the publication of this book.

We sincerely hope that all the people who are concerned about Baiji's future can obtain some knowledge and information about Baiji from this book, and join in the effort for saving this lovely animal from extinction. We also hope that the publication of this book could help the development of cetology in China.

Chen Peixun

Wuhan, China, 1996

目　录

CONTENTS

第一章　白鱀豚的分类学

一、我国古代对白鱀豚的记述

白鱀豚(Baiji, Yangtze River Dolphin, *Lipotes vexillifer* Miller, 1918)的古代记述，最早见于2 000多年前秦汉间(公元前200年)写成的《尔雅》一书，上面记载着："鱀，是鱁。"，误将白鱀豚作为一种鱼类，定了"鱀"的名字。大约1 700年前的晋朝(公元276—324年)，由学者郭璞为《尔雅》作注释时，对"鱀，是鱁。"注为："鱀䱜属也，体似鱏，尾如䱡鱼，大腹，喙小，锐而长，齿罗生，上下相衔，鼻在额中，能作声，少肉多膏，胎生，健啖细鱼，大者丈余，江中多有之。"

䱜即鳍䱜。根据晋《文选吴都赋》："鲫、龟、鳍䱜。"刘逵注释：鳍䱜，"有横骨在鼻前如斤斧形，东人谓斧斤之斤为鳍，故谓之鳍䱜，鱼二十余种，此其尤异者。"其后在唐代《一切经音义》的䱜鱼条目和《本草纲目》(李时珍，1578)中的鲛鱼条目指出䱜即鲨鱼。古代俗称鲟为鱏，䱡为江豚，从郭璞的注释中可以看出，当时仍然将白鱀豚归属于鱼类的一种。但他们对白鱀豚的形态特征和生活习性实是经过了较为认真的观察，才能有如此确切的描述。而从"尾如䱡鱼"来看，那时就已将白鱀豚和江豚区分开来了。唐代(约公元700年)陈藏器著《本草拾遗》和明代(公元1578年)李时珍的《本草纲目》中都单独列出了一个条目：海豚拾遗，将豚从鱼中分出来。在海豚释名中："海狶，生江中者名江豚(本草拾遗)、江猪(本草纲目)、水猪(南方异志物)、鱀鱼、馋鱼、鲟鲱"。李时珍的释名解说中有："海豚江豚皆因形命名，郭璞赋海狶江豚是也，魏武食制谓之鲟鲱，南方异物志谓之水猪又名馋鱼，谓其多涎也"。如果他们所写"鱀鱼"就是指的白鱀豚，那么就是误将白鱀豚当作江豚的同物异名了。但从他们的集解中所描述的形态肤色特征，又像单指江豚而言。为此，我认为当时这些学者们对白鱀豚和江豚的区分至少是不够明确的。其实早在宋代(公元1044—1101年)孔武仲就有一首《江豚诗》："黑者江豚，白者白鱀。状异名殊，同宅大水。"他从豚的皮肤颜色和形态上的差异，非常明确地将两者区分开来。诗中又说："大川平夷，缟素不起。两两出没，矜其颊嘴。若俯若仰，若跃若跪。舟人相语，惊澜将作。亟入湾浦，踣樯布笮。俄倾风至，簸山摇岳。浪如车轮，氛雾相薄。舟人燕安，如在城郭。先事而告，昭哉尔功。"该诗段描述了豚在大风雨来临前频繁出水活动的行为状态，船员们摸清这种活动规律，预测天气的变化，可将船停到避风港湾，保证了安全。诗中还有："渊有群鱼，掠以肥己。是谓小害，顾有可喜。""鳄啮牛马，头鼍象龙。暴殄天物，安得尔同。於人无害，所欲易充。暴露形体，告人以忠。又多膏油，以助汝工。江湖下贫，机杼以农。鸟鹊知风，商羊识雨。大厅之下，风雨何苦。岂知舟航，方在积阴。以尔占天，蓍察之验。古之报祭，不遗微虫。孰扬尔烈，登荐蜡宫，世不尔好，复惟尔恶。我作此歌，为昭其政。"该诗段说明豚类以鱼为食，与鳄鱼相比，可以说豚类对人类危害不大。反之，它们对人类还有益；除了它们的出没行为可供水上作业人员预测天气变化，得到安全外，它们的油脂还可以作为燃料用来点灯照明，对农民有用。为此，孔仲武特作此歌，阐明豚类是

一种有益的动物。

清代郝懿行(1755—1823年)著《尔雅义疏》上亦有记载:"陈藏器、李时珍并以鱀为江豚,但江豚名𩷇䱐,即鯆鱼,见《广雅》,鱀尾似之,而体则异。郭云鳍属,体似鱏,非江豚矣。"他明确地指出,陈藏器和李时珍将白鱀豚作为江豚的同物异名了,实际上,它们两者仅尾部相似,而体形是不同的 并认为郭璞的尔雅注释上所指的白鱀是白鱀豚而不是江豚。

继此之后,1890年清代方旭所著《虫荟》上有:"海豚,一名鱀,……大腹尖喙。齿罗生,上下相衔,其鼻如象,生额上,能喷水。""……今江中时有之,大者丈余,肉可食,味如水牛肉。"从他的描述中可看出,所指鱀即白鱀豚。

我们还可以从地方志上的记载,看到白鱀豚的分布和数量。晋代郭璞注释《尔雅》中指出,当时白鱀豚在长江中,且数量较多。到清代方旭则说:"江中时有之。"看来已不如前多了。湖北通志上记载有:"鱀鱼"。襄阳府志上说:"出谷城者佳,案尔雅鱀是,郭注鳍属也。……大者丈余,江中多有之,然今颇罕见。"这说明当时白鱀豚在汉江中有其分布,以谷城较多,但那时汉江中已不多了。

从两千多年前,古人对白鱀豚的记载中,可以推断,那时白鱀豚在数量上和分布上都比现在多且广,否则也不会引起人们对它如此的注意,观察得那么仔细,并用文字和诗歌来记述和赞美它。更为有趣的是在17世纪中叶,《聊斋志异》的作者蒲松龄,写了一个以白鱀豚的化身白秋练为主角的美丽动人的故事,题目为《白秋练》。虽是神话,故事情节中对白鱀豚的形态、生活习性作了较为确切的描述,如其中有:"巨物也,形全类人,乳阴毕具"。"此白骥翼也"。千百年过去了,神话传说仍流传于民间(图版Ⅸ,B)。

二、形态与进化

1. 白鱀豚的外形特征

(1) 体色斑纹　白鱀豚的体色较为单纯,粗略地看,背部为青灰色,腹部为白色。但仔细观察则是:体背、体侧、背鳍、鳍肢背面及尾鳍背腹面为淡青灰色;体腹部及鳍肢腹面为灰白色;上颌下缘及下颌亦为灰白色。它们的颈部及尾部还有斑纹,即在头颈部两侧、耳孔后及鳍肢上方的区域内,有一半圆形的白色宽纹;在肛门上方的尾柄两侧,有两道半月形的白色宽纹(图版Ⅰ、Ⅱ)。这些斑纹在活体上是非常明显的。成年个体在春季,头部面颊及整个腹部都呈现胭脂色,这是繁殖交配季节出现的一种婚姻色彩(陈佩薰等,1985)。

新生幼儿的体色比成体显得深些,背部为深青灰色,腹部浅灰色,颈部和尾部两侧的斑纹与成体相同。在上颌背面有左右不对称的5对白色短须,1龄以上的个体,短须脱落,而在原来短须的基部呈现5对白色斑点。

(2) 体形及外部结构　白鱀豚的身体似纺锤形。狭长的上下颌,下颌略长于上颌,吻的末端微向上翘,吻突上没有肉质唇。上下颌上有排列整齐的同型齿,齿式为32-33,32-34/33,32-34。吻后头部有圆形隆起的额隆(melon)。鼻孔(又名喷水孔)开口于额隆后面的头顶部,为一纵向的长圆形孔,孔的中点在头中轴偏左约3cm的位置(图版Ⅹ)。

眼小,位于头侧的上方。无外耳,耳孔极小只有 1mm 的小圆孔,位于眼的后下方。背部有一个低三角形软质背鳍,位于体中部稍后,约在体长的 3/5 处,背鳍基长为其高的 3—4 倍。腹部的脐孔与背鳍基部前端相对,肛门位于腹部向后体长的 3/4 处。头部后的颈部不明显,体躯干呈圆筒形,脐孔处的体围最大,肛门后的体围最小。鳍肢在体长的前 1/3 处,鳍肢长为宽的 1.5—2.2 倍。后肢完全退化。仅在接近生殖孔的腹壁附近有一对游离小骨,一般都认为它们是腰带的痕迹器官。肛门后的尾部有一平扁非骨质尾鳍,呈水平方向分为左右两叶,中央有一尾凹(图 1-1)。

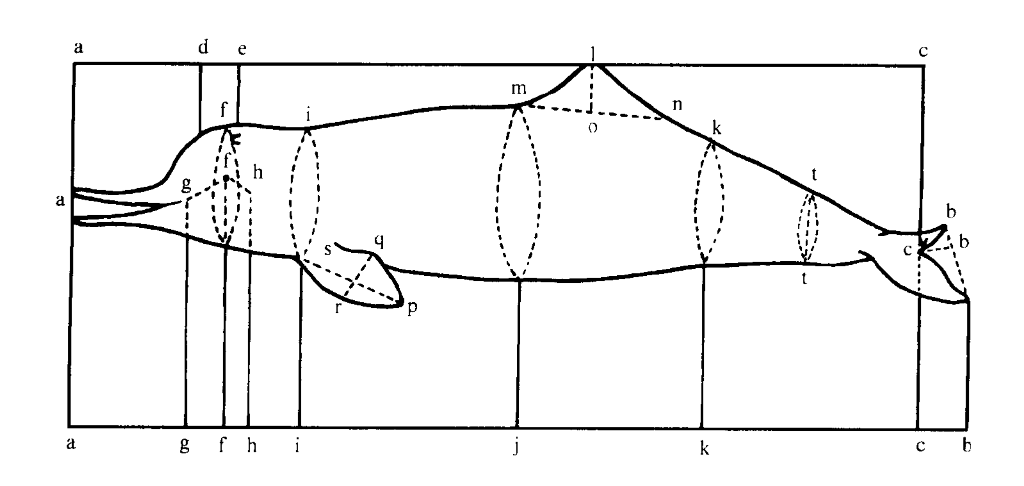


图 1-1　白鱀豚各部位比例性状测量示意图

Fig. 1-1　Diagram of proportion character in *Lipotes vexillifer*

a - c	吻端至尾凹	c - l	尾凹至背鳍顶点	t - t	肛门至尾凹中点体围
a - d	吻端至额隆	c - o	尾凹至背鳍基中点	t	肛门至尾凹中点高
a - e	吻端至鼻孔中点	c - k	尾凹至肛门中点	t	肛门至尾凹中点厚
a - f	吻端至眼中心	c - r	尾凹至生殖裂中点	i - p	鳍肢前缘长
a - g	吻端至口角	c - j	尾凹至脐中点	s - q	鳍肢后缘长
a - h	吻端至耳孔	f - h	眼中点至耳孔	r - q	鳍肢最宽
a - i	吻端至鳍肢前端	f - g	眼中点至口角	l - o	背鳍高
a - j	吻端至脐中点	f - e(l)	眼中点至呼吸孔(左边)	m - n	背鳍基长
a - r	吻端至生殖裂中点	f - e(r)	眼中点至呼吸孔(右边)	b - b	尾鳍宽
a - k	吻端至肛门中点	f - f	眼部体围	c - b	尾鳍深
a - l	吻端至背鳍顶点	i - i	鳍肢前体围	c - v	尾凹深
		m - j	腹部最大体围		
		k - k	肛门部体围		

雌雄个体在外形上的区别,在于生殖裂的形态、位置以及乳窦的有无。雌性生殖裂的后端紧接在肛门的前方,并向肛门外伸展成左右泄殖皱裂,生殖裂中心位于脐至肛门距离的 1/8 处。生殖裂的左右外侧,各有一个乳裂,乳裂里面包有一个乳头。雄性生殖裂中心位于体长的 2/3 处,距肛门较远,约在脐至肛门距离的中点位置,生殖裂两侧无乳裂,而在紧接肛门的前端有一小孔,名为雄性会阴囊(Aryy, 1973),阴茎埋于体腔内不外露(图版 X, B、C、D)。

将所获的 37 头白鱀豚标本,按胎儿、初生儿及雌、雄成体,分别测量其体长和体重(表

1-1)，初生儿的体全长(吻端至尾鳍尖)约 90cm，体重不足 7kg。成体雌性平均体全长为 266.8cm，平均体重为 127kg。雄性平均体全长为 198cm，平均体重为 87.4kg。显然雌性个体大于雄性个体。

表 1-1 白鱀豚的体长和体重

Table 1-1 Body length and weight of *Lipotes vexillifer*

项目 Item	头数 Number	体全长(cm) Body length	平均体全长(cm) Average	体重(kg) Body weight	平均体重(kg) Average
雄成体 Male adult	20	147—230.5	198.24	40.75—157.0	87.43
雌成体 Female adult	15	192—259	226.84	63.0—166.5	126.92
胎儿 Foetus	1	34.5	34.5	0.85	0.85
初生儿 Newborn	1	90.3	90.3	6.75	6.75

按照国际小型鲸类会议(1974 年在加拿大召开)上统一的测量标准，对 37 头白鱀豚的身体各部位比例性状进行了测量(表 1-2)。

表 1-2 白鱀豚比例性状的测量

Table 1-2 The measurements of proportion character in *Lipotes vexillifer*

比例性状项目	雄成体		雌成体		胎儿 Foetus		初生儿 Newborn	
	平均值 Mean(cm)	占体长 (%)	平均值 Mean(cm)	占体长 (%)	平均值 Mean(cm)	占体长 (%)	平均值 Mean(cm)	占体长 (%)
吻端至尾凹 Snout to notch	188.42	0.95	218.00	0.96			84.00	0.93
吻端至额隆顶端 Snout to apex of melon	31.16	0.16	38.03	0.17	4.50	0.13	11.80	0.13
吻端至呼吸孔中点 Snout to center of blowhole(s)	73.09	0.37	75.49	0.35	6.00	0.17	16.50	0.18
吻端至眼中心 Snout to center of eye	35.57	0.18	40.56	0.18	6.02	0.18	14.50	0.16
吻端至口角 Snout to angle of mouth	28.63	0.14	34.67	0.15	5.40	0.16	12.70	0.14
吻端至耳孔 Snout to ear	42.66	0.22	52.85	0.23	9.40	0.27	19.90	0.22
吻端至鳍肢前端 Snout to filpper	53.82	0.27	67.33	0.30	12.50	0.36	26.00	0.29
吻端至脐中点 Snout to center of umbilicus	100.95	0.51	117.80	0.52	21.00	0.61	46.70	0.52
吻端至生殖裂中点 Snout to genital slit	122.85	0.62	148.04	0.65	24.50	0.71	63.10	0.70
吻端至肛门中点 Snout to anus	146.15	0.74	169.08	0.75	28.50	0.83	65.60	0.73
吻端至背鳍顶点 Snout to tip of dorsal fin	117.24	0.59	136.78	0.60	24.00	0.70	56.20	0.62
尾凹至背鳍顶点 Fluke notch to dorsal fin tip	66.76	0.34	78.48	0.35	12.00	0.35		
尾凹至背鳍基中点 Fluke notch to dorsal fin center	66.75	0.34	79.85	0.35	12.50	0.36	30.00	0.33
尾凹至肛门中点 Fluke notch to anus	42.68	0.22	48.06	0.21	7.50	0.22	22.00	0.24

（续表 1-2）

比例性状项目	雄成体		雌成体		胎儿 Foetus		初生儿 Newborn	
	平均值 Mean(cm)	占体长 (%)	平均值 Mean(cm)	占体长 (%)	平均值 Mean(cm)	占体长 (%)	平均值 Mean(cm)	占体长 (%)
尾凹至生殖裂中点 Notch to center genital slit	64.94	0.33	54.46	0.24	11.50	0.33	23.00	0.25
尾凹至脐中点 Fluke notch to umbilicus	86.39	0.44	98.48	0.43	15.50	0.45	38.60	0.43
上下颚长差 Projection lower/ upper jaw	0.72	0.00	1.05	0.00			0.60	0.01
额隆宽 Rostral width at apex of meion	9.35	0.05	9.04	0.04	3.20	0.09	4.90	0.05
眼高 Height of eye opening	0.57	0.00	0.46	0.00	0.10	0.00	0.15	0.00
眼长 Length of eye opening	0.95	0.00	1.02	0.00	0.30	0.01	0.50	0.01
眼中点至耳孔 Center of eye to ear	10.58	0.05	13.15	0.06	3.60	0.10	6.30	0.07
眼中点至口角 Center of eye to angle of mouth	8.04	0.04	8.23	0.04	2.00	0.06	3.00	0.03
眼中点至呼吸孔(左) Eye to blowhole edge(left)	10.68	0.05	10.68	0.05	3.10	0.09	5.30	0.06
眼中点至呼吸孔(右) Eye to blowhole edge(right)	12.30	0.06	13.76	0.06	3.80	0.11	7.20	0.08
呼吸孔长 Blowhole length	3.62	0.02	3.75	0.02	0.90	0.03	1.30	0.01
呼吸孔宽 Bloehole width	2.48	0.01	2.45	0.01	1.00	0.03	1.20	0.01
眼间距 Diameter of head between eyes	16.65	0.08	17.48	0.08	6.00	0.17	10.00	0.11
眼部体围 Girth at eye	71.68	0.36	76.4	0.34			40.40	0.45
鳍肢前体围 Girth at axilla	97.84	0.49	114.17	0.05	22.00	0.64	46.70	0.52
腹部最大体围 Maximum girth	114.11	0.58	127.12	0.56	24.00	0.70	50.00	0.55
肛门部体围 Girth at anus	62.11	0.31	69.75	0.31	11.00	0.32	21.00	0.27
肛门至尾凹中点体围 Girth midway anus to fiuke notch	29.18	0.15	37.38	0.16	5.50	0.16	13.50	0.15
肛门至尾凹中点体高 Height, same place	13.18	0.07	15.63	0.07	2.60	0.08	7.00	0.08
肛门至尾凹中点体厚 Thickness, same place	5.37	0.03	6.86	0.03	1.40	0.04	3.00	0.03
生殖裂长 Length genital slit	3.73	0.02	12.89	0.06			4.10	0.05
鳍肢前缘长 Flipper length, anterior	23.79	0.12	29.67	0.13	4.20	0.12	11.90	0.13
鳍肢后缘长 Flipper length, posterior	14.99	0.08	17.32	0.08	2.60	0.08	7.70	0.09
鳍肢最宽 Flipper width, maxium	13.01	0.07	15.16	0.07	2.10	0.06	6.10	0.07
肛裂长 Length anal slit	4.05	0.02	2.07	0.01			0.80	0.01
背鳍高 Dorsal fin height	9.33	0.05	11.32	0.05	1.20	0.03	4.95	0.05

(续表 1-2)

比例性状项目	雄成体		雌成体		胎儿 Foetus		初生儿 Newborn	
	平均值 Mean(cm)	占体长 (%)	平均值 Mean(cm)	占体长 (%)	平均值 Mean(cm)	占体长 (%)	平均值 Mean(cm)	占体长 (%)
背鳍基长 Length dorsal fin base	34.44	0.17	40.15	0.18	5.50	0.16	15.00	0.17
尾鳍宽 Fluke width	43.67	0.22	51.52	0.23	8.40	0.24	18.20	0.20
尾鳍深 Fluke depth	13.92	0.07	18.38	0.08	1.30	0.04		
尾凹深 Depth of fluke notch	4.54	0.02	7.58	0.03	0.50	0.01	1.20	0.01

根据所测量各部位比例性状,除生殖裂长度外,雌雄差异不显著。而胎、初生儿与成体间最为显著的差异,为吻端至呼吸孔中心间距,胎、初生儿要小得多,这是由于胎、幼儿的吻较宽短。

2. 鲸类的起源与演化

关于鲸类的起源和进化,学者们做了许多工作,虽然对这个问题还存在着争论,但一般认为,从生物进化史来看,陆生动物是由水生动物演化而来,而鲸类则是在 5 000 多万年前,现代鲸类的祖先,由于生活环境的巨大变化,重新适应水中生活,所以鲸类为第二次入水生存的哺乳动物,由它们逐步形成进化树上的新分支——鲸目。

对鲸类起源的祖先和年代,学者们有着不同的观点。Gregory(1910)认为起源于食虫类(insectivores)、Fraas (1904) 则认为鲸类的祖先是一种肉齿类(creodont ; sensu tato)。Kellogg (1936) 推断鲸类起源于较早的中生代(Mesozoic)。但 Vanvalen (1966)则认为是在古新世(Paleocene)。他们的观点都不能较为完满地解释鲸类的起源问题(Barnes, 1984)。

一些科学家在巴基斯坦发现了由陆生向水生演化的鲸类过渡种 *Pakicetus inachus* 的化石,推断它们生活于 6 000 万年前的始新世(Eocene)早期,是一种在古 Tethys 海域浅水中捕鱼为食的水陆两栖动物,可以认为是由它们逐渐过渡到完全水生的古鲸类。此时的古鲸类与它们的祖先在形态结构上产生了巨大变化,牙齿从陆生祖先的异齿型(heterodont)向同齿型(homodont)演化;鼻孔后移至头顶;颌骨前伸形成吻突;后腿退化,尾部薄而轻。头部却大而重,使身体重心靠前以利于漂浮,鼻孔露出水面呼吸等等适应水中生活的特点(Barnes, 1984; Minasian *et al*., 1984; Pratt, 1892; Würsig, 1988)。

近 20 年来学者们作进一步的研究,他们分析了现代哺乳动物的血液组成、染色体、子宫形态、胰岛素、胎儿血糖、齿质等,证实了鲸类与有蹄类(Ungulates)特别是偶蹄类(Artiodactyla)非常相近(杨健,1994)。

值得特别提出来的是 Würsig(1988)杰出的工作,他研究了须鲸的行为,从须鲸所表现出的高度群体行为,认为与食草类有蹄动物非常相似,进一步证实鲸类是大约5 500万年前由陆生食草动物演化而来。同时他还作了一张图说明鲸类的进化,以及鲸目中各种类的演化来缘关系(图 1-2)。

Basilosaurus 是稍为进化的古鲸,其体长可达 25m, 头骨长达 1.8m, 保留有异形齿,门齿和犬齿为单根圆锥形,接近哺乳类的一般齿式,鼻孔位于头前方。大约在0.38—0.45

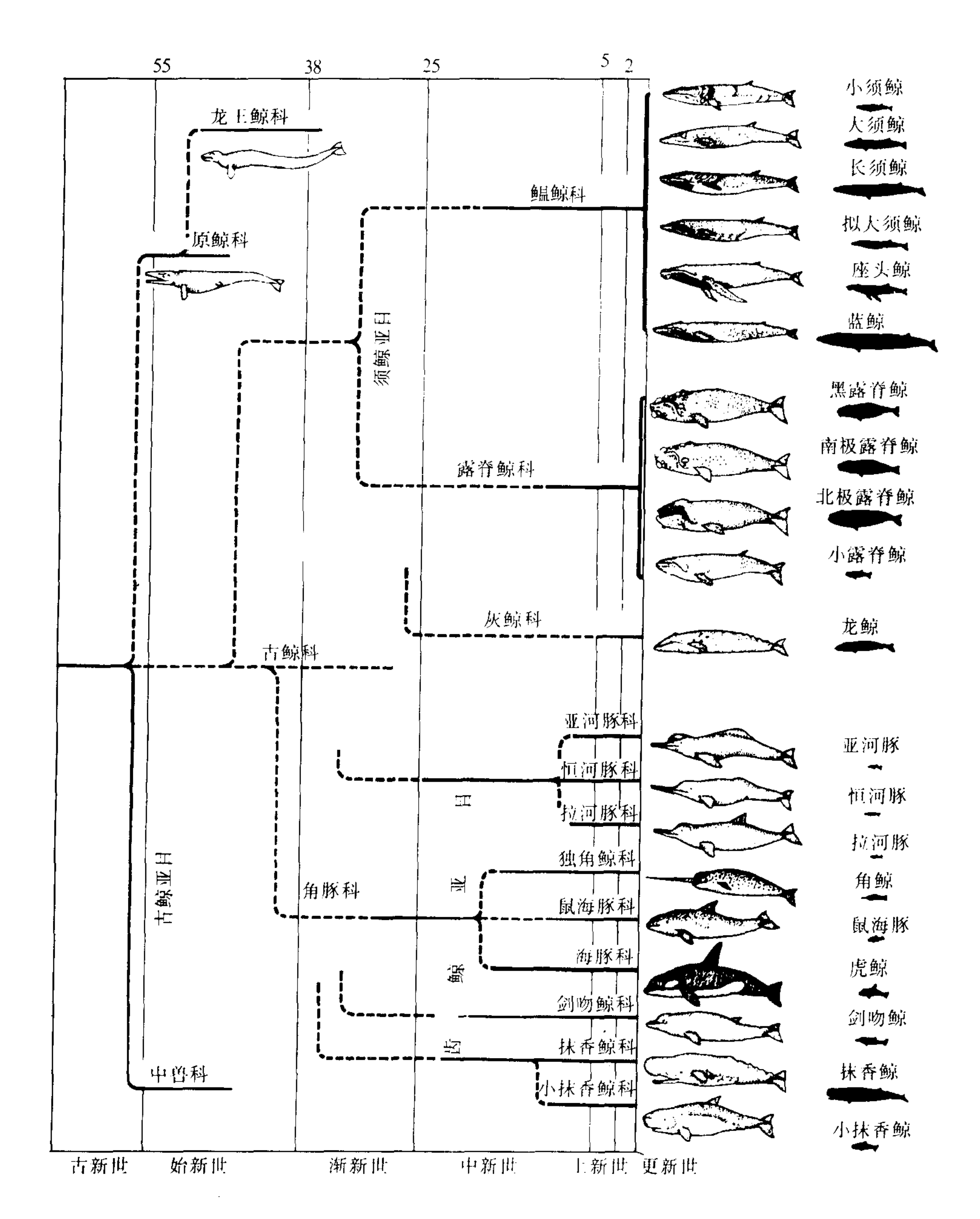


图 1-2 鲸类的演化及亲缘关系(引自 Würsig 技术水平,1988)

Fig. 1-2 The evolution and relationship of cetaceans

鲸起源于大约 5 500 万年前,现已分化为须鲸亚目和齿鲸亚目。须鲸亚目有 11 个种,其中一种是蓝鲸,那是世界上已知最大的动物;齿鲸亚目包括 80 个种,其中包括齿鲸,海豚和鼠海豚。其相对大小如图所示。

亿年前,曾在美洲、欧洲兴盛过。进一步进化的最后的古鲸类是 Dorudon,生活在距今约

0.38亿年前，分布在北美、欧洲、非洲、新西兰等地。体长约 5m，其代表种是 *Zygorhiza*，它的外鼻孔位于稍前方，椎骨比 *Basilosaurus* 短，后肢退化，头长占体长比例较大。一般认为齿鲸和须鲸是从其同类进化而来，古鲸亚目的种类至始新世就灭绝了，在渐新世(Oligocene)演化而进化为齿鲸和须鲸(Würsig，1988)。

研究鲸类演化的学者们有两派意见，有的认为古鲸亚目不是齿鲸亚目和须鲸亚目的直接祖先(Kleineberg，1958，Yaslokob，1964，Slijper，1979)。但一般都认为齿鲸亚目和须鲸亚目来源于古鲸亚目(Archaeoceti)(Barrens，1984，Würsig 1988)。Würsig 提出齿鲸亚目和须鲸亚目来源于一个与古鲸科(Agorophidae)同源的祖先。齿鲸类起源于渐新世早期，距今约 3 000 万年，现代齿鲸的直接祖先是 Squalodon 类。从形态上和时代上看，它是处于古鲸和现代鲸的中间类型，约 600 万年前灭绝。须鲸类起源于渐新世中期，距今约 2 700 万年，初期的须鲸是 Aetiocetus 和 Cetotheriidae 分布在欧洲、美国和日本，它们的兴盛期是渐新世中期至上新世为止。须鲸类进化成现代鲸后，其体形在不断变大，小型种类体长也达 6m。

齿鲸(toothed whale，Odontoceti)和须鲸(baleen whale，Mysticeti)两大类采取不同进化途径，齿鲸继续保存牙齿，并向单根的同型齿演化。为了捕食鱼类及一些身体光滑动物，牙齿数量增多，并发展了回声定位能力；头骨从对称型向不对称型变化，以适应发射不同频率的声音；头部形成脂肪性的额隆，起着超声波透射作用，从这条途径演化出 80 个不同的种类 (Norris *et al*.，1971；Mead，1975；Barrens，1984；Würsig，1988)。

须鲸则失去了牙齿，在颌上代之以角蛋白组成的刷状结构，起过滤作用，将海水中的小生物滤集后吞食。须鲸演化出 11 个种。

3．淡水豚类的进化

淡水豚类(Platanistoid)是一个古老、衰落的类群，现存的四类淡水豚分布在世界相隔较远的地区。白鱀豚(*Lipotes*)分布在亚洲的中国长江，恒河豚(*Platanista*)分布在亚洲的印度河和恒河，亚河豚(*Inia*)分布在美洲亚马孙河，拉河豚(*Pontoporia*)分布在大西洋近南美沿岸。人们在美洲、欧洲、非洲、亚洲都曾发现它们的化石，从化石的研究表明，淡水豚类可能源自距今 3 000 多万年前渐新世 Oligocene 生存的齿鲸类(Agorophiidae)。然后分出 Acrodelphidae 和 Platanistidae 二支，而 Acrodelphidae 在上新世 Pliocene 已灭绝(Barnes，1984)。在中新世 Miocene(距今约 2 500 万年前)和上新世淡水豚类开始繁盛起来。

淡水豚类的化石种类大都出现在沿海岸，是一种海洋动物化石。拉河豚的化石种类是上新世的南美化石 *Pontistes* 和 *Pliopontos*，它们均为大西洋西南沿岸生活的海洋齿鲸。亚河豚与南美洲发现的海洋化石种类：*Saurodelphins*、*Anisodelphins* 和 *Ischrorhynchus* 相似，它们在个体大小和吻突长度上、非常相似，同时都具有皱褶珐琅质(wrinkled enamel)的牙齿，以及头部颜面部表面缘都有向上的突起等(Barnes，1978)。Rensberger (1969)描述了一个生存于中新世的曲冠豚(*Kampholophos serrulus*)，他推断该种的特征，像接近亚河豚一样接近白鱀豚，但需要进一步弄清两者的关系。而 Barnes(1984)提出鉴于拉河豚是生活于晚中新世和上新世的海洋种类，具有白鱀豚的一些特征，可以认为白鱀豚与拉河豚同源。1981 年在中国广西桂平郁江岸边，发现了一动物下颌骨化石，周开

亚等(1984)认为该化石的齿型、齿冠、舌面都接近白鳖豚,无疑是迄今为止已知的最接近白鳖豚的化石齿鲸,提出把该化石齿鲸作为白鳖豚的化石种类,订名为原白鳖豚[*Prolipotes yujiangensis*(Zhou *et al*., 1984)]。淡水豚类的演化尚需深入进行研究。

三、白鳖豚的分类位置

国外最早记述白鳖豚的是 Pratt, A. E.,早在 1892 年写的一本"To the Snows of Tibet through China"中记述了在长江旅行的见闻。他见到渔民在长江中用钩捕鱼时,生活在长江中的淡水鲸将这些钩拖走。他描述的淡水豚约有 1 000 lb[①],因为太大无法将它作为标本带回。他曾想将一头 150 lb 的小豚作为标本,也因无法找到能装下的容器而放弃了这个念头。根据 Pratt 的记载,我们认为他见到的淡水鲸可能就是白鳖豚,而且在那个时候,白鳖豚就已遭到渔民所用捕鱼的滚钩的危害了。

有记载并同时拿到标本的是 1914 年 2 月 18 日美国的 Hoy(1923),他在洞庭湖获得一头雄性白鳖豚标本,并附有一张照片。他将该头白鳖豚的头骨及颈椎送到美国华盛顿国立博物馆保存。这头标本即作为白鳖豚的模式标本,编号为 USNM 218293。经 Miller, G. S. 研究命名为 *Lipotes vexillifer* Miller, 1918。以后 Pope, C. H. (1940)于 1921 年 12 月 21 日在同地采到一头雌性白鳖豚,完整的骨骼存放在纽约美国自然历史博物馆(AMNH 57333)。G. F. C. Corfield(Miller, 1923)又于 1922 年 1 月 19 日在同地采到另一头雌性白鳖豚,它的不完整骨骼存放在英国南甘辛顿自然历史博物馆(BMNH 22-6-22-1)。

我国最早收藏白鳖豚标本的是 1953 年在上海自然博物馆内,随后于 50 年代直到 80 年代,在大连、北京、天津、南京、武汉等地的一些科研单位、高等院校及自然博物馆内都保存有白鳖豚的剥制标本、浸制标本或骨骼标本,以供学者们研究(表 1-3)。

表 1-3 中国及世界各地保存白鳖豚标本记录

Table 1-3 Records of specimens kept of *Lipotes vexillifer* in China and the world

ID	捕获日期	捕获地点	标本号	标本种类	性别	体长(m)	体重(kg)	保存地
1	1914.2.18	洞庭湖	218293	头骨,颈椎	M	2.28	135	美国华盛顿国立博物馆 USNM
2	1921.12.21	洞庭湖	57333	整体骨骼	F	2.02	0	美国自然历史博物馆 AMNH
3	1922.1.19	武汉江段	22-6-22-1	不完整骨骼	F	2.08	0	英国南甘辛顿自然历史博物馆 BN
4	1953	上海江段	20951	剥制标本	F	1.52	0	上海自然博物馆
5	1954	武汉江段		剥制标本		0	0	武汉大学生物系
6	1955.4.2	浙江桐庐		剥制标本	F	2.4	0	浙江省博物馆
7	1955.4.21	上海江段		整体骨骼		0	0	上海市水产研究所
8	1955.12	上海江段	24366	剥制标本/整体骨骼	F	0	0	上海自然博物馆

① 1 lb(磅)=0.453592kg,下同。

(续表 1-3)

ID	捕获日期	捕获地点	标本号	标本种类	性别	体长(m)	体重(kg)	保存地
9	1956.2.19	南京江段	1	剥制标本	F	2.25	126	南京大学生物系
10	1956.12	南京江段	5601	剥制标本/不完整骨骼	M	1.5	72	南京师范大学生物系
11	1957.8.13	南京江段	5701	整体骨骼	F	2.06	55	南京大学生物系
12	1960	镇江江段	2			0	0	南京大学生物系
13	1962	洪湖江段			M	1.6	55	湖北洪湖市水产局
14	1963	洪湖江段		不完整骨骼	M	1.8	90	湖北洪湖市水产局
15	1963	武汉江段	1	剥制标本	M	0	0	武汉华中师范大学生物系
16	1964.2	上海江段		剥制标本	F	0	0	上海复旦大学生物系
17	1965.10.7	南京江段	1		F	2.53	88	大连自然博物馆
18	1966.2.20	南京江段	6601	剥制标本	M	0	0	南京师范大学生物系
19	1966.2.20	南京江段	6602	剥制标本	M	0	0	南京师范大学生物系
20	1966.3.3	南京江段	2		F	1.99	87	大连自然博物馆
21	1967.8	沙市江段	2	头骨		0	0	武汉华中师范大学生物系
22	1970.3	湖南临湘		胎儿浸制	M	0	0	湖南岳阳地区农业局水产组
23	1972	南京江段		头骨		0	0	南京大学地质系
24	1973.10.12	鄂城江段	73-X-1409	剥制标本	M	2.06	95	中国科学院动物研究所
25	1973.10.12	鄂城江段	73-X-1409	整体骨骼	M	2.06	95	武汉中国科学院水生生物研究所
26	1974.1.21	洪湖江段	74-I-001	剥制标本	F	2.5	224	北京自然博物馆
27	1974.1.21	洪湖江段	74-I-002	剥制标本	F	2.53	237	武汉中国科学院水生生物研究所
28	1974.1.21	洪湖江段	74-I-003	整体浸制	M	1.7	73	武汉中国科学院水生生物研究所
29	1974.1.21	洪湖江段	74-I-001B	胎儿浸制	F	0	0	武汉中国科学院水生生物研究所
30	1974.1.21	洪湖江段	74-I-002B	胎儿浸制	M	0	0	武汉中国科学院水生生物研究所
31	1974.2.27	沙市江段		剥制标本	M	0	0	荆沙长江水产研究所
32	1974.3.13	芜湖江段		剥制标本	M	1.79	58	安徽省展览博物馆
33	1974.9.18	南京江段	7405	剥制标本/整体骨骼	F	2.41	104	南京师范大学生物系
34	1982.2.7	洪湖江段	80-2-07	剥制标本		0	0	天津博物馆
35	1982.11	洪湖江段	82-11-04	剥制标本	F	2.21	157.5	大连自然博物馆
36	1983	监利江段	83-3-2	剥制标本	M	2.46	141	武汉中国科学院水生生物研究所
37	1985.4	洪湖江段		剥制标本		0	0	湖北洪湖燕窝中学
38	1986.3.31	监利江段	88-9-珍	剥制标本	F	1.97	88.3	武汉中国科学院水生生物研究所
39	1986	监利江段	86-12-2	剥制标本	M	2.37	161.3	武汉中国科学院水生生物研究所
40	1985	石首调关	95-2-24	剥制标本	F	2.45	182	湖北长江天鹅洲白暨豚自然保护区
41	1993.11.25	江苏镇江		剥制标本	F	2.41	195	江苏徐州云龙湖水上世界

19世纪中叶,J. E. Gray (1863, 1866)首次将淡水豚类(Platanistoid)分为恒河豚科(Platanistidae)(恒河豚,*Platanists*)、亚河豚科(Iniidae)(亚河豚,*Inia*)、海豚科(Delphinidae)(拉河豚,*Pontoporia*),而Flower(1869)则认为恒河豚科下有三个亚科,即恒河豚亚科、亚河豚亚科及拉河豚亚科(Miller, 1923)。

1918年Miller根据Hoy采的白鳖豚模式标本,经研究后命名为*Lipotes vexillifer* Miller 1918。他将白鳖豚的头骨与亚河豚作了比较,认为白鳖豚与亚河豚极为相似,因此将白鳖豚归属于亚河豚科。1923年他承认Gray的恒河豚科和亚河豚科,但将拉河豚归属于海豚科下的Stenodelphininae。从本世纪20年代以来,国内外的鲸类学家对淡水豚的分类以及白鳖豚的归属问题作了大量工作。

对淡水豚科的分类问题,Kellogg(1928)、Slijper(1936)、Simpson(1945)、Fraser and Purves (1960)都认为亚河豚、白鳖豚、恒河豚和拉河豚应归属于淡水豚科。但Slijper认为没有亚科,Simpson、Fraser and Purves则承认淡水豚科下有三个亚科。Kellogg(1944, 1945)、Rensberger(1969)提出Iniids的化石是亚河豚科的不同种。

至于白鳖豚的分类位置,大多数学者倾向于隶属亚河豚亚科。Fraser and Purves

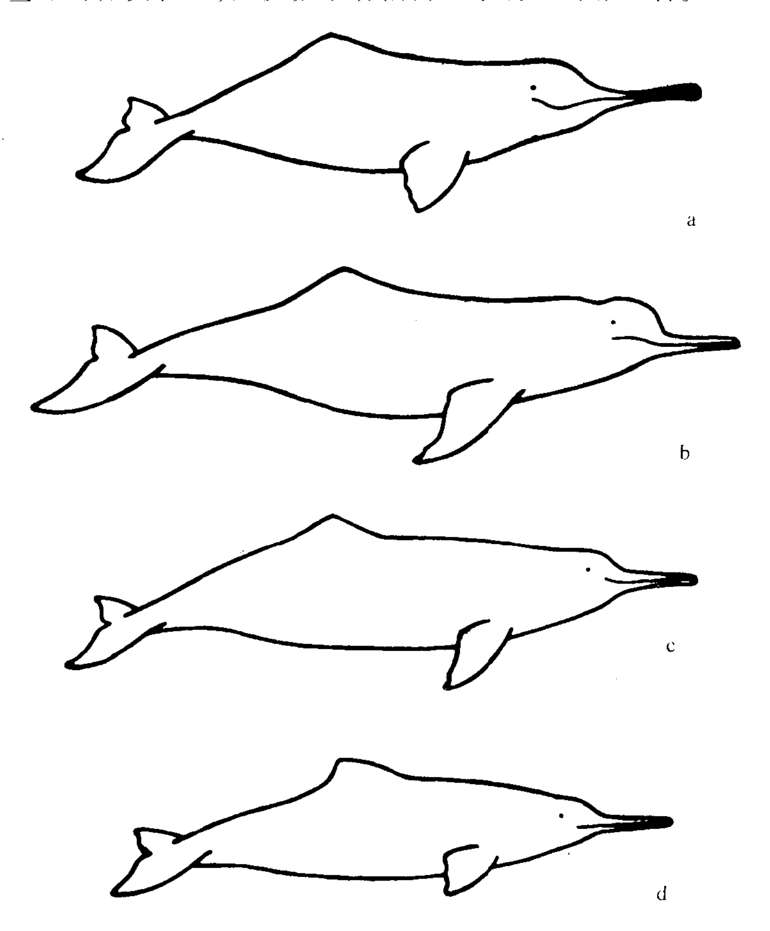


图1-3 四种淡水豚外形比较

Fig. 1-3 Comparison on the contour in 4 kinds of freshwater dolphin

a.恒河豚;b.亚河豚;c.白鳖豚;d.拉河豚。

(1960)对鲸类的听觉器官、气囊以及有关骨骼进行了比较研究后，认为白鳖豚应归属于亚河豚亚科。Brownell and Herald(1972)研究了白鳖豚的脊椎骨、头骨、牙齿以及鼓围耳骨，Kasuya(1973)研究白鳖豚的鼓围耳骨，从他们的研究结果中，都提出白鳖豚和亚河豚极为接近，应列入淡水豚科下的亚河豚亚科。学者中仅有 Hinton *et* Pycraft(1922)研究了白鳖豚和恒河豚的一些形态结构，则认为白鳖豚接近于恒河豚，都属于进化早期阶段，但他们的观点未被学者们承认。

1979 年周开亚等对白鳖豚的骨骼系统作了较为细致的工作，并与恒河豚、亚河豚和拉河豚作比较，提出淡水豚类应列为淡水豚总科(Platanistoidea)，而白鳖豚具有淡水豚总科祖系衍传的特征，所以它应归属于该总科，但从形态构造特别是骨骼构造的比较，不属于现已确认的现存科：恒河豚科、亚河豚科、拉河豚科中的任何一科，为此应将白鳖豚另建一新科，即白鳖豚科(Lipotidae fam. nov.)，白鳖豚属(*Lipotes*)(Miller, 1918)；(周开亚等，1978，1979)(图 1-3)。1982 年周开亚重新从骨骼、呼吸器官和消化器官对四类淡水豚进行了比较，进一步证实他的观点，建立淡水豚分类系统：

鳖豚总科　Platanitoidae

亚鳖豚科	Iniidae	白鳖豚科	Lipotidae
海鳖豚科	Pontaporiidae	恒鳖豚科	Platanistidae

但这个观点至今并未完全被鲸类学家们广泛采用。1988 年 Perrin 为国际自然和自然资源保护联盟(IUCN)下属物种生存委员会(SSC)提出 1988—1992 年鲸类保护行动计划书中使用的，以及 1991 年 IUCN 红皮书(Dolphins, Porpoises and Whales of the World)中所使用的淡水豚类分类系统均是：

Suborder Odontoceti (toothed whale)　齿鲸亚目

　Superfamily Platanistoidea　淡水豚总科

　　Family Platanistidea　恒河豚科

　　　　Platanista gangetica (Ganges river dolphin)　恒河豚

　　　　Platanista minor (Indus river dolphin)　印河豚

　　Family Pontoporiidea　拉河豚科

　　　Subfamily Lipotinae　白鳖豚亚科

　　　　Lipotes vexillifer (Baiji, Yangtze or Chinese river dolphin)　白鳖豚

　　　Subfamily Pontoporiinae　拉河豚亚科

　　　　Pontoporia blainvillei (Franciscana, La Plata dolphin)　拉河豚

　　Family Iniidae　亚河豚科

　　　　Inia geoffrensis

　　　　　Inia geoffrensis geoffrensis (Boto, Amazon river dolphin)　亚河豚

　　　　　Inia geoffrensis boliviensis (Madeira river dolphin)　贝河豚

　　　　　Inia geoffrensis humboldtiana (Orinoco river dolphin)

参　考　文　献

方旭(清)，1890，虫荟。
孔仲武(宋)，江豚诗。
李时珍(明)，1578，本草纲目——海豚鱼拾遗。

寿振黄,1964,中国经济动物志——兽类,291—293。
杨健,1994,鲸类的起源和进化——兼论淡水豚类的进化。生物学杂志,61:13—14。
陈佩薰、林克杰、华元渝,1985,白鱀豚生物学特征的初步研究,水生生物学报,9(2):176—184。
陈宜瑜,陈炜,1975,关于白鱀豚的一些形态解剖资料,水生生物学集刊,5(3):360—370。
陈藏器(唐),本草拾遗。
周开亚,1958,在长江下游发现的白鱀豚,科学通报,(1):21—22。
周开亚、钱伟娟、李悦民,1977,白鱀豚的分布调查,动物学报,23(1):72—79。
周开亚、钱伟娟、李悦民,1978,白鱀豚研究的新进展,南京师范学报(自然科学版),1:8—13。
周开亚、钱伟娟、李悦民,1979,白鱀豚的骨骼和分类位置,动物学报,25(1):58—73。
郝懿行(清),尔雅义疏,1755—1823。
姚闻卿、胡菊英,1974,安徽捕获的白鳍豚,淡水渔业,(7):16—17。
郭璞(晋),尔雅郭注,276—324。
康定星,1964,白鳍豚的解剖和习性纪要,动物学杂志,6(1):6。
蒋廷锡等(清),古今图书集成,1727。
蒲松龄(清),聊斋志异(卷十一)白秋练,1640—1715。
Allen, G. M., 1938, The mammals of China and Mongolia, 6: 496—497.
Arvy, L., 1973, Notes on the mammary glands of male cetaceans. In: Investigations on Cetacea, Ed: G. Pilleri, Berna, 5: 219—224.
Barnes, L. G., 1984, Whales, Dolphins and Porpoise: Origin and evolution of the Cetacea, in mammals. Ed. Broadhead T. W. University of Tennessee Department of Geological Sciences in Geology, 8: I—IV, 1—234.
Brownell, R. L. and Herald. E. S., Mammalian species No. 10. *Lipotes vexillifer*, The American Society of Mammalogists, 10: 1—4.
Fraser, F. C. and Purves P. E., 1960, Hearing in Cetaceans. evolu-ation of the accessory air sacs and the structure and function of the outer and middle ear in recent cetaceans, Bull. Brit. Mus. Hist., 7(1): 1—140.
Hinton, M. A. C., 1936, Some interesting points in the anatomy of the freshwater dolphin *Lipotes* and its allies, Proc. Linn. Soc., 148th Sess., 3: 183—185.
Hinton, M. A. C. and Pycraft W. P., 1922, Preliminary note on the Affinities of the Genus *Lipotes*, Ame. Mag. Nat. Hist., 9(10): 232—234.
Hoy, C. M., 1923, The "White flag dolphin" of the Tung Ting Lake, China J. Sci. and Arts., Shanghai, 1: 154—157.
Kasuya, T., 1973, Systematic consideration of recent toothed whales based on the morphology of tympanoperiotic bone, Sci. Rep. Whales Res. Inst., 25: 1—103.
Mead, J. G., 1975, Anatomy of the external nasal passages and facial complex in the delphinidae (Mammalia: Cetacea) Smithson, Contr. Zool., 207: 1—72.
Miller, G. S., 1918, A new river-dolphin from China, Smiths. Misc. Coll., 68(9): 1—12.
Miller, G. S., 1923, The telescoping of the cetacean skull, Smiths. Misc. Coll. 76(5): 1—71.
Minasian, S. M., Baleomb III K. C. and Foster, L., 1984, The world's whale, The complete illustrated guide Smithsonian books, Washington D. C.
Norman, J. R. and Fraser F. C., 1948, Giant fishes. whales and dolphins, London, 342—343.
Norris, K. S., Dormer K. J., Pegg J. and Liese G. J., 1971, The mechanisms of sound production and air recycling in porpoises: A preliminary report, In: Proc. 8th Annu. Conf. Biol. Sonar Diving Mammals. Menlo Park, Calif: Stanford Research Institute, 113—129.
Pope, C. H., 1940, White flag, China's animal frontier, Viking Press, New York, 177—183.
Pratt, A. E., 1892, To The Snows of Tibet through China. London, Longmans, Green, and Co., 24.
Rensberger, J. M., 1969, A new iniid cetacean from the Miocene of California, Univ. Calif. Pub. Biol. Sci., 182: 1—43.
Report of the meeting on small cetaceans Montreal, April 1—11, 1974, Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 32(7): 889—983.
Slijper, E. J., 1979, Whales, Cornell University Press.
Würsig, B., 1988, Behavior of baleen whales, Scientific American, 258(4): 102—107.
Zhou Kaiya, 1982, Classification and phylogeny of the superfamily Platanistoidea, with notes on evidence of the monophyly of the cetacea, The Scientific reports of the whale research Institute, 34: 93—108.
Zhou Kaiya, Zhou Mingzhen and Zhao Zhongru, 1984, First discovery of a Tertiary Platanistoid fossil from Asia., Sci. Rep. Whales Res. Inst., 35: 173—181.

第二章　白鱀豚的形态学

一、生殖系统

淡水豚生殖系统的研究，虽在19世纪末已有学者对亚河豚、恒河豚和拉河豚作了一些工作，但研究得比较深入和详细的还是本世纪70年代以来的事，其中要数 Harrison, Brownell, Boice 等(1969,1971,1972,1973,1981)的工作较为出色。白鱀豚的生殖系统研究就要晚多了，自陈宜瑜等(1974)作了白鱀豚生殖器官简要描述后，直到80年代初，由陈佩薰等(1982)对白鱀豚的生殖系统、特别是雌性生殖系统做了较为深入的研究，以后王克雄等着重对雄性白鱀豚生殖系统进行了详细工作。值得一提的是由于鲸类的保护问题，在全球已引起广泛重视，而与保护至为密切的生殖问题的研究，已引起学者们的兴趣。1981年11月28日至12月7日，由国际捕鲸委员会(IWC)组织，在美国加州召开了一个"鲸类的生殖"国际会议，除大会宣读论文外，还举行了一个小型学术讨论会。有关专家云集一起，对鲸类研究中存在的问题进行了讨论。这次会议无疑对今后鲸类生殖研究起了较大促进作用(Perrin *et al.*, 1984)。

1. 雌性生殖系统

雌性白鱀豚生殖裂开口于脐和肛门之间，我们测量5头幼体与成体生殖裂位置(表2-1)，可以看出无论幼体或成体，生殖裂的位置都接近于体长的3/4处，生殖裂中心距肛门极近，几乎在脐至肛门距1/8的地方。生殖裂前端从阴蒂稍向脐的方向伸展，后端紧接于肛门前，并向肛门外侧伸展为左右泄殖皱裂，近肛门处为阴道口，阴道口的上方有一较大椭圆突起，它左侧有尿道开口于阴道前庭，向上有阴蒂和大小阴唇，生殖裂后端左右两侧各有一乳裂，它们不完全在一平行位置，右乳裂稍前于左乳裂。白鱀豚的生殖系统结构，与其他鲸类动物基本相似，但它也有其本种的特点(陈佩薰等，1982)。

表2-1　白鱀豚雌性个体生殖裂位置测量(cm)

Table 2-1　The measurements of the position of reproduction slit in female *Lipotes vexillifer*

标本号 No.	体长(吻至尾凹) Body length (Snout to notch)	吻端至生殖裂中心 Snout to genital slit (center)	吻至生殖裂中心/体长 s. to g. s. / b. l (%)	脐至生殖裂中心 Umbilicus to g.s.	生殖裂中心至肛门 g. s. to anus	肛门至生殖裂中心/脐至肛门 Anus-g. s./u. - a. (%)
74-1B	73.0	54.0	74.0	13.0	1.0	8.0
79-3	95.0	69.5	73.0	15.5	3.5	18.4
80-3	184.5	136.0	73.7	33.0	5.0	13.2
80-7	223.0	179.0	80.2	55.0	5.5	10.0
79-2	234.0	174.0	74.4	50.6	7.0	12.2

(1) 阴道　测量1头体长234cm的雌豚(79-2)，其阴道长为14.4cm，从结构和颜色上可将阴道分为上下两段，接近阴道口为下段，长为6.8cm，颜色灰黑，阴道壁仅有少量

浅稀皱襞，在阴道前庭和阴道口交界处有一明显的唇瓣，无处女膜。上段是从阴道口至阴道下段的交界处为止，长为7.6cm，颜色黄白，阴道壁布满密密层层的皱襞，皱襞深且呈片状，纵横交错。薄片状的纵皱襞充满了阴道上段，而横皱襞只分布在宫颈下口与阴道交界处以及上、下段交界处。各有数圈向下的横皱襞，这些横皱襞上还有许多小皱襞，整个阴道上段因充满纵横皱襞，看不出空腔，而阴道上段口与宫颈下口交界处的横皱襞，几乎将宫颈口封住（表2-2）。

表2-2 雌性白鱀豚阴道及子宫测量（引自刘仁俊，1989）

Table 2-2 Measurements of vagina and uterus of *Lipotes vexillifer*

标本号 No.	体长(cm) Body length	阴道长(cm) Length of vagina	宫颈长(cm) Length of cervix	子宫左角(cm) Left horn	子宫右角(cm) Right horn	怀孕情况 Status of pregnancy
80-3	192.0	8.0	3.0	7.4×3.0	5.5×2.9	未成熟 Immature
79-2	245.0	14.4	5.0	14.0×3.5	12.6×4.0	成熟 Mature
80-8	250.6	14.6	12.1	13.7	14.5	成熟 Mature
86-1	237.4	13.6	14.9	30.5×54.5	40.8×27.5	右角胎儿 Fetus in r. h.
74-1	250.0	18.0	12.7	70.0×20.0	19.0×15.0	左角胎儿 Foetus in l. h.
74-2	253.0	22.0	12.8	52.0×18.0	49.0×16.0	左角胎儿 Fetus in l. h.

阴道的组织结构观察，上下段亦稍有不同。上段分为3层，外膜为疏松结缔组织，肌层为平滑肌，肌束纵横交错，粘膜层很厚，上皮为复层鳞状上皮，固有膜为很厚的致密结缔组织。下段亦分为3层，不同之处为粘膜层向内壁伸出极多小齿状突起，上皮为柱状上皮。白鱀豚阴道的特点是为适应水中交配而具有极为完善的结构功能。首先，满布纵横皱襞，特别是阴道上口与宫颈下口交界处的横皱襞，几乎把宫颈封住，这些纵横皱襞的主要功能为，既有利于阴道口的扩张和收缩，又有利于防止水的侵入。尤其是白鱀豚的横皱襞既薄且深，每圈横皱襞上还有许多小皱襞，其防止水进入子宫的功能比其他淡水豚更为完善。

（2）子宫　　阴道上段口通向子宫的宫颈，其大小和结构随着成熟、怀孕而变化（表2-2）。未成熟和未怀孕个体，宫颈较阴道细，外形呈管状，内径仅为2—3cm，宫颈内壁有数条短粗的纵皱襞。怀孕个体，宫颈明显变粗，但亦仅5cm左右，内壁纵皱襞消失，代之为平展而柔软的绒毛膜。

白鱀豚的子宫为不对称的双角子宫，一般是左大右小。但怀孕个体则怀胎的那个子宫角大。曾对6个未成熟、成熟及怀孕个体进行了测量（表2-2），显示出来，成熟个体的子宫比不成熟的要大些，而成熟怀胎个体子宫则更大。子宫被宽的韧带固定在骨盆腔内，子宫腔由隔膜分为左右两腔，各通左右子宫角。未怀孕个体，子宫外形似铁锚形，整个内壁布满像宫颈那种纵皱襞，宫壁厚达0.5cm。怀孕个体，整个子宫扩张，特别是宫底向上伸展，使子宫变成袋状，内壁也像宫颈那样呈平坦而柔软的绒毛膜，宫壁变薄仅0.2cm。

子宫壁由内膜、肌层和浆膜组成，浆膜是包围子宫的腹膜，肌层为很厚的平滑肌组成，各层肌纤维交错排列，内膜中有大量子宫腺体，上皮为单层柱状上皮。怀孕子宫内膜外层有许多向内腔突出的小突起，上皮细胞排列松散，宫颈外口皱襞粘膜上皮为柱状上皮，平滑肌层特别厚。从子宫组织学分析，成熟未怀孕个体子宫内膜有脱膜样变化，怀孕个体有胎儿的子宫角内膜没有蜕膜化现象，而另一子宫角内膜则有蜕膜化，这是为了准备受精卵着床的表现。

(3) 卵巢　左右卵巢分别位于子宫的两侧，由系膜联结在子宫的宽韧带上，卵巢形状基本为扁椭圆形，但随着性腺的发育有较大变化。输卵管短，仅2cm左右，可是输卵管伞区的范围却很大，其直径约5cm左右。曾测量和分析了7头雌性卵巢（其中包括性成熟和未成熟个体），从表2-3中可以看出，卵巢重量相对其体重来说是非常小的，尽管在怀孕时，由于卵巢排卵受精后，产生妊娠黄体，使卵巢体积成倍增大，卵巢重与体重的相对比重仍是不大的。

未成熟个体的卵巢中是没有黄白体的，只有成熟个体的卵巢中有黄白体存在，怀孕个体的卵巢中才有黄体。怀孕个体的卵巢，外有一层厚约30μm的白膜包裹着，皮质部分中有初级卵泡、生长卵泡和闭锁卵泡等各级发育阶段的卵细胞，以及大量充血的动静脉血管，黄体出现在怀胎儿那侧子宫角的同侧卵巢中。黄体外面包着一层较厚的结缔组织膜，厚度约为68—120μm。如将黄体剖开，从剖面观察可以见到满布各种大小血管的结缔组织隔膜将菌状黄体分割成许多大小不同的团状小区，每小区内有大量黄体细胞。白鳖豚黄体的这种隔膜形式与其他淡水豚不同，恒河豚和印河豚的黄体中结缔组织主隔膜向中心辐射，排列成一小的纤维锥体（Harrison *et al.*, 1969, 1971），拉河豚的黄体结缔组织隔膜平行排列，把黄体细胞分隔成排状，每排黄体细胞数量亦少（Harrison *et al.* 1973）。白鳖豚黄体的组织学观察，隔膜中的大小血管未见充血，黄体内的颗粒黄体细胞肥大而呈多面形，细胞内没有空泡化现象，发育正常的黄体细胞大小为20—30μm，最大可达46μm，有一些细胞具有双核，泡膜黄体细胞则要小得多。白鳖豚的颗粒黄体细胞比恒河豚（1.5μm）、拉河豚（18—23μm）、江豚（finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*）（20μm）的都要大些（Harrison *et al.*, 1969, 1972, 1973）（表2-3）。

子宫内的胎儿一经产出，卵巢中的黄体很快萎缩成白体，而白体在卵巢中不再被吸收消失，白体的大小都在1cm以下（表2-3）。白体表面有许多皱折瘢痕，从组织学观察中可以见到白体周围包有丰富的各种大小血管，内充满红细胞，静脉血管中更为丰富。

(4) 乳腺　乳头包藏在乳裂的皮囊中，皮囊长约2—3cm，埋在脂肪组织中，皮囊基部联接乳腺，乳腺形似袋状，左右两个乳腺沿生殖裂向上伸展，在生殖裂前端汇合后继续向前伸，一直到达脐部。测量80—7号成熟雌豚的乳腺，左侧乳腺为30cm×10.5cm×1.5cm，右侧乳腺为27.5cm×9cm×0.8cm，左比右稍大。

2. 雄性生殖系统

雄性白鳖豚生殖裂的位置与雌性有显著不同，生殖裂中心在体长的2/3处，与肛门相距甚远，约在肛门与脐距的中心。生殖裂两侧没有雌性那样的乳裂，而紧接肛门的前面有一小孔，称为雄性会阴囊（Arvy, 1973）。

雄性生殖器像所有鲸类一样全埋藏在体内。从肛门和生殖裂后端切开，剥去皮肤和脂肪层，可见到阴茎基部，阴茎从这里向左扭曲一圈后向前伸至生殖裂的泄殖孔，膀胱位于阴茎背部，在膀胱和阴茎交界处，有左右输精管向前通至精巢，肾脏位于精巢内侧前方，从肾脏出来的输尿管通至膀胱的2/3处，输精管、输尿管及动脉血管在膀胱背部互相交错（图2-1）。

(1) 精巢（睾丸）和附睾　在腹腔内左右肾的外侧后方，各有一个长椭圆形的精巢。体长190—206cm的成熟个体，左右精巢共重14—60g，精巢表面光滑，外覆盖着一层鞘

表 2-3　白暨豚卵巢测定(引自刘仁俊,1989)

Table 2-3　Measurements of ovary of *Lipotes vexillifer*

标本号 No.	捕获日期 Date of death	体长 (cm) Body length	体重 (kg) Body weight	卵巢 Ovary					注 Comment
				大小(cm) Size		重量 (gm) Weight		成熟情况(cm) Status of maturity	
				左 Left	右 Right	左 Left	右 Right		
80－3	1980.1.11	184.5	63.5	1.6×0.6×0.3	1.6×0.4×0.4	0.3	0.3	未成熟 I.	I. Immature
83－1	1983.2.28	226.1	165.0	3.0×2.1×1.6	3.6×2.0×1.6	10.8	8.0	未成熟 I.	L. Left
80－7	1980.2.15	226.0	166.5	3.65×1.9×0.9	3.4×1.9×1.2	3.6	4.3	左 L. 白体 CA. 0.8×0.4(1) 右 R. 白体 CA. 0.8×0.7(1)	R. Right
79－2	1979.1.25	234.0	142.5	2.6×1.8×0.9	2.7×1.8×0.9	1.3	2.0	左 L. 白体 CA. 0.7×0.7(5) 右 R. 白体 CA. 0.7×0.8(1)	CA. Corpora albicantia
86－1	1986.12.2	237.0	161.3	3.4×2.6×1.9	3.7×2.7×2.8	15.0	20.0	左 L. 白体 CA. 0.5×0.3(1) 萎缩黄体 CCL. 1.9×1.4(1) 右 R. 胎儿 F. 黄体 CL. 3.1×2.5(1) 白体 CA. 0.5×0.5(2)	CL. Corpora luteum CCL. Collapsing corpora luteum
74－1	1974.1.21	250.0	224.0	5.2×3.2×1.8	3.1×1.8×1.0	16.0	2.7	左 L. 胎儿 F. 73cm 黄体 CL. 4.55×3.2×1.8(1) 白体 CA. 0.6×0.5(1) 右 R. 白体 CA. 1.0×0.6(1)	F. Fetus
74－2	1974.1.21	253.0	237.0	5.7×3.2×1.2	3.6×2.1×1.3	13.5	5.8	左 L. 胎儿 F. 54.5cm 黄体 CL. 3.9×3.1×1.1(1) 白体 CA. 0.75×0.6(2) 右 R. 白体 CA. 1.0×0.8(5)	

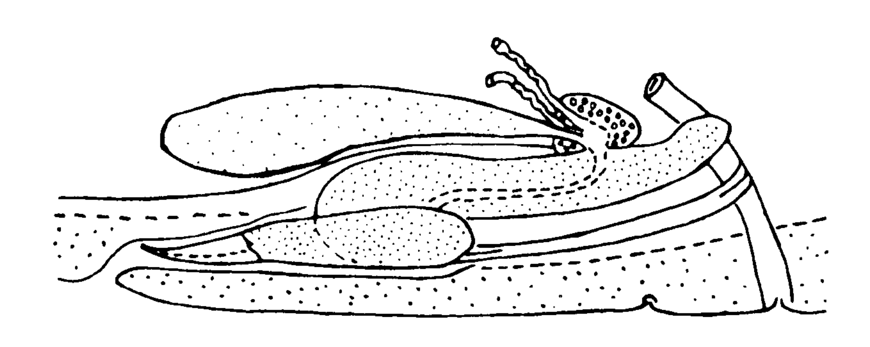


图 2-1 白鳖豚雄性生殖系统图(引自王克雄等,1996)
Fig. 2-1 The male genital organs of *Lipotes vexillifer*

膜,其中由白膜将精巢分成精巢小叶,白膜的厚度为 140—225μm,每平方厘米有 3—5 个小叶,在精巢背侧接近附睾的地方有一较为明显的精巢纵隔,在精巢内纵向延伸约 0.5—10cm,周围的精巢小隔与其相连(图 2-2)。附睾可分为 3 部分,附睾头由输出管和附睾管组成,附睾头的管腔分支多,附睾体管腔较大,且盘曲程度比附睾尾小,附睾尾管腔更小。

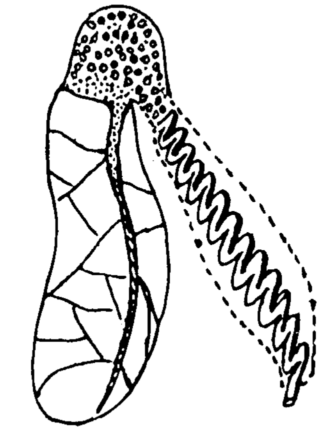


图 2-2 白鳖豚的睾丸和附睾图(引自王克雄等,1996)
Fig. 2-2 The testis and epididymis of *Lipotes vexillifer*

从组织切片来看,精巢内的盘曲的曲细精管,横切面管径为 32—46μm。许多曲细精管呈现空泡化管腔,精巢中有明显的精母细胞分化过程。靠近曲细精管壁有一至数层精原细胞,其中夹杂着初级精母细胞,内层为次级精母细胞。成熟个体中的曲细精管内层可见到精子细胞的梨形头部。将白鳖豚与其他 4 种淡水豚的精巢结构作比较,同为体长差不多的成熟个体,白鳖豚比其他淡水豚,不论是精巢大小、重量、白膜厚度还是细精管直径都小得多(表 2-4)。

表 2-4 淡水豚精巢的比较(引自王克雄等,1996)
Table 2-4 Comparison of the testis of freshwater dolphins

种名 Species	体长(cm) Body length	成熟状况 Mature condition	双侧精巢重(gm)(含附睾) Weight of testis (including epididymis)	白膜厚度 (μm)	精细管直径 (μm) Tubuli semiuiferi	资料来源 Source of data
白鳖豚	191.0—206.0	成熟	14.0—60.0	140—225	32—46	Chen *et al.*, 1982
恒河豚	180.0—185.0	成熟	246.4—310.4	400—600	120	Harrison, 1972
印河豚	117.0—123.0	未成熟	6.8—9.0	—	65	Harrison, 1972
拉河豚	119.0	未成熟	9.7	—	110	Harrison *et al.*, 1971
亚河豚	123.0—185.0	未成熟	14.3—27.6	—	80—85	Harrison *et al.*, 1971
	190.0—221.0	成熟	356.5—613.0	—	100—150	
	228.0	成熟	1447.0	—	200	

（2）输精管和射精管　从附睾的基部向后至膀胱颈处，有一短的输精管与阴茎相通。白鳖豚的输精管不像海豚的盘曲重叠，输精管外径约为 7mm 左右，内径约为 40—50μm 左右。从附睾基部出来的左右两根输精管稍为盘曲，然后较直地走向前列腺，在进入前列腺前亦稍为盘曲，整个输精管长约 10 余 cm，然后左右输精管合而为一，成为射精管进入前列腺尿道窦，输精管左右交合处显得膨大，管壁增厚，富有弹性，可能起贮存精子的作用。

对输精管的组织切片观察，它们分成 3 层，外层为外膜，内层为粘膜层，厚度为 100—150μm，中间为肌层，靠近粘膜层的为环肌，厚度为 900μm，纵肌厚度为 100—200μm。白鳖豚输精管内径较小，仅 40—50μm。

（3）前列腺　是一种管泡型腺体，位于阴茎脚间，卵圆形的腺体包围着从膀胱刚分出来的输尿管。前列腺外膜是由一层结缔组织和平滑肌组成，它与腺体内的结缔组织和平滑肌相连，具有坚实肌肉结构的腺体，它可在射精时起到协助作用，这也是豚类为适应水中交配具有的特殊功能。白鳖豚的雄性生殖系统中没有精巢腺体和输精管壶腹，但有较发达的前列腺，看来前列腺体在豚类生殖活动中起着重要作用。从 Harrison（1969）对海豚的生殖器官研究中，得知海豚胎儿和新生儿的前列腺不发达，但到 1.5—2 岁时快速发育起来，而海豚成熟年龄要 5—7 岁，这说明前列腺的发育并不依赖于精巢发育，同时，我们还可认为豚类前列腺的发育将促进精巢成熟和生殖活动。

（4）阴茎　白鳖豚成熟个体阴茎长约 11—30cm。阴茎始于腰骨中间的阴茎脚，二分支状的阴茎脚合成一长而坚实的索状体，其横切面呈卵圆形。阴茎在体内向左呈“乙”状弯曲，阴茎尖为锥状形，缩茎肌的一端连在阴茎腹面，另一端连在直肠壁上。阴茎海绵体在“乙”状弯曲处，被深入阴茎内部的筋膜挤向阴茎一侧，外面被海绵体包围的尿道位于阴茎海绵体的腹面，阴茎筋膜将这两块海绵体裹绕在一起。白鳖豚没有像印河豚和拉河豚那样具有阴茎海绵体侧叶和阴茎海绵体纵隔（Harrison *et al.*，1971，1972），但也像其他海豚一样，阴茎海绵体和尿道海绵体一直延伸到阴茎尖，但不形成阴茎头，包皮囊前部尖细，后部宽且纵褶，一般情况下包皮囊紧闭，阴茎完全缩藏于内。从阴茎的组织学观察，可以看到阴茎的浅层筋膜中有许多空泡结构，阴茎的结缔组织形成许多向内的乳突与内层向外的乳突相互嵌合。

（5）雄性会阴囊　紧接肛门前有一小孔，向体内朝前约 2.2cm 长的“Y”形盲囊。Arvy（1973）对雄性鲸类的乳腺研究后，认为盲囊可能是退化的乳腺。而 Yablokov（1973）认为白鲸 *Delphinapterus leucas* 的退化乳腺能分泌同类能感觉到的特殊物质，Nishiwaki *et al.*（1975）也提到过江豚腹部的小孔（Strange hole），认为可能是分泌芳香物质的腺体，这个问题尚待今后深入探讨。

二、呼吸系统

关于鲸类的呼吸系统的研究，早在 17 世纪就开始了，Ray（1671）最先开展了鲸类上呼吸道的研究，他描述了鼻的结构，并试图解释某些构造的作用。随后 Busmeister（1867）、Anderson（1878）对拉河豚、恒河豚的鼻气囊作了描述。但对鲸类上呼吸道的研究较多的还是本世纪了，Huber（1934）、Lawrence 和 Schevill（1956）明确提出鲸类鼻结构中

气囊的数量及位置，并给以命名。Purves 和 Pilleri(1973)对恒河豚，Schenkkan(1972)、Mead(1972,1975)对拉河豚以及 Mead(1975)、Schenkkan(1976)对亚河豚的鼻囊分布位置及特征作了详细描述。廖承义(1978)对江豚的鼻道作了解剖观察。学者们对鲸类上呼吸道的研究逐步深入，Schenkkan(1971, 1972, 1973)和 Mead(1972, 1975)较为细致地进行了上呼吸道比较解剖学的研究。Грачева(1971)专门探讨了海豚的喉结构。Клейнеберг(1956,1958)和 Мангер(1975)先后对里海海豚的上呼吸道进行了功能形态学的研究。

对鲸类气管和肺的研究，Hunter(1787)最早进行了解剖学研究，Weber(1886)作了气管组织学观察，Leonard(1940)、Wislocki(1942)开展了肺的组织学工作。Yamasaki *et al*. (1977)、Kamiya *et al*. (1974)报道了拉河豚、恒河豚包括肺在内的器官重量，以及详细描述了拉河豚肺的形态特征及组织学结构。近年来，由于电子显微镜的应用，将这方面工作也推向一个新的水平，Fanning 和 Harrsion(1973—1974)比较深入地研究了南澳大利亚宽吻海豚肺的亚显微结构。

至于白鳖豚呼吸系统的研究，仅在本纪 20 年代，Hinton 和 Pycraft(1922)、Hinton(1936)曾对鼻结构中的"浮骨"作了描述，并简单提到有表层气囊和深层气囊，右气囊较发达，气囊可能受"浮骨"的控制。陈宜瑜和陈炜(1975)对"浮骨"作了一些描述，但对气囊未作仔细观察，对气管和肺作了简略的形态描述。随后陈佩薰等(1980)对白鳖豚上呼吸道，刘仁俊等(1980)对白鳖豚的气管和肺进行了较为详细的解剖学和组织学的研究。

白鳖豚的呼吸系统与陆生动物一样，由鼻、喉、气管和支气管、肺所组成，但因它是水生动物，这些器官都有一套适应水中生活的特殊结构和功能。

1. 鼻

包括鼻孔、颅上鼻道、骨质鼻道。

(1) 鼻孔(又名喷水孔、喷气孔、呼吸孔)　白鳖豚的鼻孔像所有鲸类动物一样移位于额隆后面的头顶部，是一个纵向的长圆形孔，鼻孔的中点离头中轴约偏左 3cm，孔径纵长 1.8cm，横宽 1.2cm(成年个体)。鼻孔有前后二个唇突起张闭作用，前唇突较长，可达鼻孔纵轴的 2/3 处，后唇突为 1/3。前后唇突紧闭，水就无法进入鼻孔。这是启闭鼻道的第一关口。

鲸类鼻孔的形状，也是区分一个种类的较为明显的特征，仅淡水豚中就各有不同，如拉河豚的鼻孔是横裂的似新月形，而恒河豚则是纵裂的，白鳖豚鼻孔形状似乎介于它们两者之间(图版 I-1, a、b)。

(2) 颅上鼻道　包括有气囊和浮骨。

浮骨(floating bones)：位于头顶部皮下脂肪层下面鼻道的左右两侧，左右两块浮骨在鼻道前面有肌腱相连，同时肌腱又紧紧附着于额隆后部。白鳖豚的浮骨形状似一等腰三角形，测量成年个体浮骨的大小，左浮骨为 4.1cm × 8.3cm。浮骨的背面中部凸出，腹面中部内凹，形成一个深穴，这种情况右浮骨比左浮骨更为明显。周开亚等(1979)在骨骼研究中也有描述。从浮骨的组织切片上观察它的结构，可以看到浮骨的外层是含有丰富动静脉血管的外膜，组织中还分布着微血管和毛细血管。外膜内的主质是由大量的胶原纤维组成，粗大的胶原纤维束排列不规则，胶原纤维中嵌有网状脂纺组织。浮骨切片中没有见到软骨细胞或任何骨化构造，看来浮骨只是胶原性不规则型的致密结缔组织。至于

它的功能如何？推测可能与呼吸或发声有关，这个问题尚待进一步探明。

气囊：白鳖豚有三对气囊：前庭囊(vestibular sacs)、鼻额囊(nasofrontal sacs)、前颌囊(premaxillary sacs)(图 2-3)。没有副囊(Accessory sacs)和连结囊(connecting sacs)。

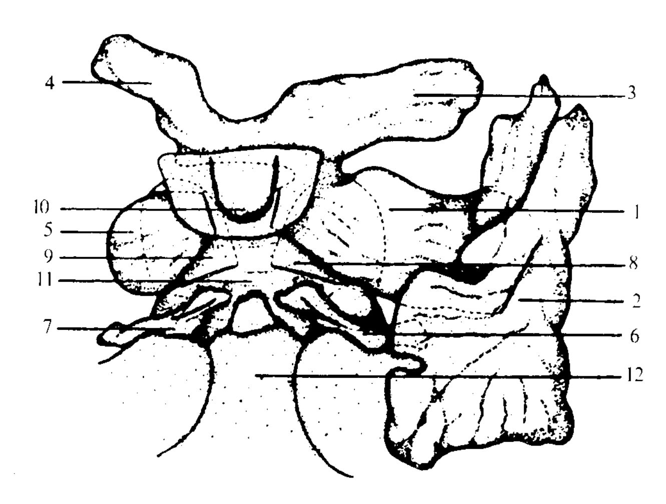


图 2-3 白鳖豚鼻道和气囊(背面观)

Fig. 2-3 The nose passage and air sac of *Lipotes vexillifer* (dorsal view)

1.右前庭囊主囊； 2.右前庭囊侧部； 3.右前庭囊前部右角； 4.右前庭囊前部左角；
5.左前庭囊； 6.右鼻额囊； 7.左鼻额囊； 8.右前颌囊； 9.左前颌囊；
10.喷水孔； 11.上鼻道后壁； 12.额骨隆起。

前庭囊为一对呈棕黑色的表层囊，分两个极不对称的左右囊。左前庭囊位于浮骨下方，囊小壁薄，开口于鼻道左下侧约 1.2cm 处。右前庭囊非常发达，分主囊、侧囊和前囊三部分，由主囊开口于鼻道右下侧，与左前庭囊开口处相对应的位置。主囊斜插至右浮骨下面，在浮骨腹面深穴处形成一个小圆囊，其外周向外平展，侧囊是从主囊侧壁延伸出来的，在腹面有一个 3cm 的开口和主囊相通，它通过右浮骨向下扩展为一个膨大部分，右前庭囊的侧囊是最大的一个囊，其前端可伸至眼眶，后端达额骨边缘，几乎覆盖着整个右上颌肌。从主囊前壁向前伸出具有左右二个角的前囊，它夹在额隆与左右浮骨中间。前囊左角似一“Z” 形绕过鼻道，右角比左角大，为一长圆形。前庭囊的侧囊和前囊的囊壁厚且多皱褶。当呼吸时空气通过这里易于伸缩扩张。

观察前庭囊的组织结构，囊的上皮为典型的复层扁平(鳞状)上皮，具有多层细胞。靠近游离面的几层细胞呈扁平状，没有见到角化层；中层为多角细胞；上皮基底面有许多小突，它们和深层结缔组织的固有膜孔突交错嵌合，互相紧密连结。结缔组织中含有丰富的毛细血管。前庭囊的主囊、侧囊和前囊的上皮组织结构基本相同，但侧囊壁最厚，前囊次之，主囊最薄。前囊左右角上皮形成许多小褶，上皮基底的小突比主囊和侧囊显得粗大。从囊的组织结构上看出，囊的上皮和结缔组织紧密嵌合，并有许多褶皱，使囊非常坚实且具有弹性。

鼻额囊为一对圆管形、棕灰色囊，位于前庭囊主囊的后下方，额骨隆起中软骨脊突的两侧，软骨板的后面，埋藏在结缔组织中间。鼻额囊和前庭囊主囊处于鼻道前后相对应的

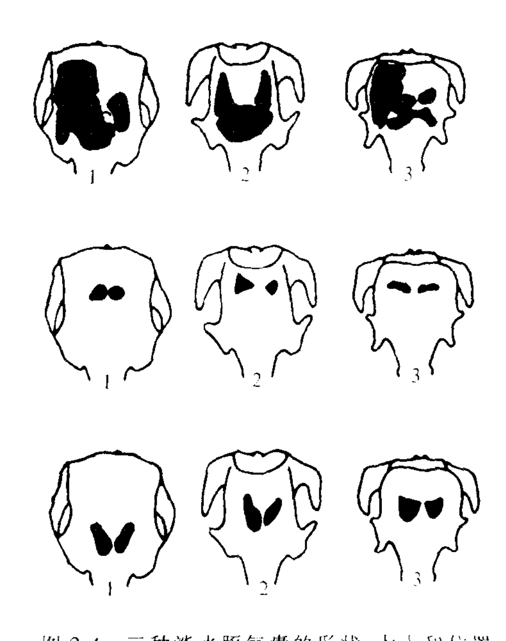


图 2-4　三种淡水豚气囊的形状、大小和位置
Fig. 2-4　The shape, size and seat of air sac of three freshwater dolphin
上：前庭囊；　中：鼻额囊；　下：前颌囊。
1. 拉河豚 *Pontoporia blainvillei*；2. 亚河豚 *Inia geoffrensis*（以上自 E. J. Schenkkan, 1973）；3. 白鳖豚 *Lipotes vexillifer*。

位置，左右鼻额囊的前侧缘和左右前庭囊主囊的后侧缘靠近。鼻额囊的右囊比左囊约大1/3。它们分别开口于颅上鼻道后壁下方，在通鼻道的入口处，囊的背壁上各有一个小鼻塞，它们起着控制鼻额囊中空气储放的作用。

前颌囊为一对半圆形囊，前端稍尖，呈灰白色。它们的大小介于前庭囊和鼻额囊之间，同样是右囊比左囊大，右囊最宽处为 3cm，左囊为 2.4cm。囊壁内外都较光滑无皱褶。它们开口于颅上鼻道的前壁下方，囊的腹壁紧贴在前颌骨上，背壁与鼻塞肌相贴。囊的后缘外侧与鼻额囊相通。在左右前颌囊的后上方的颅上鼻道处，各有一个拇指状、边缘厚钝的大鼻塞，它们由一块相当大的结缔组织和短红肌肉纤维组成的鼻塞肌所牵制。鼻塞坚实地阻塞在骨质鼻孔上，它们的张合可以控制颅上鼻道与骨质鼻道间的启闭及其与前颌囊相通。

鼻额囊和前颌囊上各有一对鼻塞，并有控制鼻塞的鼻塞肌，它们对调节鼻孔的启闭和阻止水进入气管都起着关键作用。

在几种淡水豚中，气囊的形状、大小和位置都各有不同，拉河豚和亚河豚的右前庭囊几乎盖住了整个额隆（Schenkken, 1972, 1976），而白鳖豚只是前部紧靠额隆后缘，整个前庭囊的面积都比它们要小些。鼻额囊的形状，拉河豚为圆形，亚河豚近似三角形，而白鳖豚则为管状。前颌囊在拉河豚为梨形，亚河豚为前圆后尖，白鳖豚则为半圆形，但面积比前两种为大（图 2-4）。

（3）骨质鼻道　　表层覆盖一层薄膜，外鼻孔似一心形，中间有骨质薄片分隔成左右鼻孔。骨质鼻道向前呈 45°角度下斜，在整个鼻道的中点处折曲，几乎垂直地通到咽喉。

2. 喉

白鳖豚喉的外形酷似鹅头（图版 Ⅵ，B），喉头骨支架也和其他鲸类一样，由会厌软骨（epiglottis）、杓状软骨（arytenoid）、甲状软骨（thyroid）及环状软骨（cricoid cartilages）组成。扁菱形的甲状软骨位于喉的中部，其前端与会厌软骨下端相连，后端尖翘，两侧角呈弧形向后上方延伸，末端与环状软骨侧面相连。蝶形环状软骨位于喉的后部背面，其正中前1/3 处有一小凸嵴，抵靠食道腹壁，四周着生肌肉，将喉头固着在食道上。环状软骨两侧向下包抄，但在腹面不闭合，相距约 1cm，前缘侧边与两块杓状软骨相关节，后缘连接气管。杓状软骨为一对扁平的长条形软骨，其前端约有 1cm 是左右愈合的，往后则两片分开，两片间有横韧带相连。厚大的会厌软骨，呈长三角形，用韧带与杓状软骨相联，合成一长管道状，管口端通骨质内鼻孔下端，位于左右内鼻孔中间。在淡水豚中，由于杓状软骨和会厌软骨的形状不同，其形成的管道形状也就不同，如恒河豚的管道较宽圆，而白鳖豚

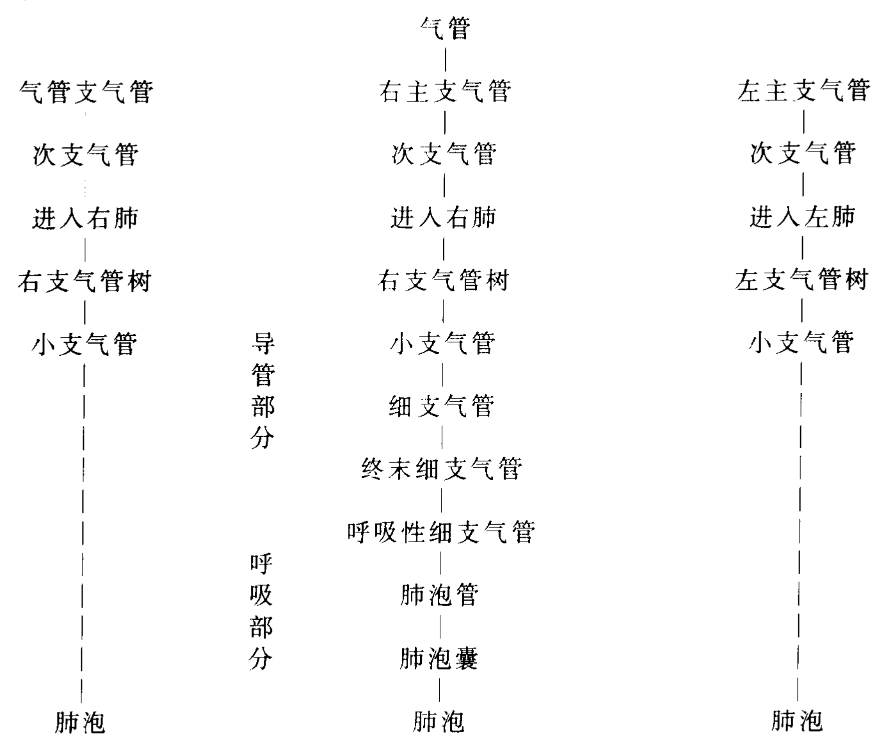
的则纵长。

喉头的口端有一个包在会厌软骨前端向外翻卷的膜质唇，它和杓状软骨联合成一喇叭状唇凸，可以防止喉头在咽喉部滑动。在会厌软骨和杓状软骨联合成的管道中，喉腔壁软而薄，仅有1mm厚。但到环状软骨包围的喉腔时，内壁达5mm厚，喉管壁由粘膜皱褶组成，伸缩性较强，能比较严密地封闭，有效防止水的进入，这是阻止水进入气管的最后一道关口。

从白鳖豚喉腔壁的组织切片观察中，可以见到室皱襞（plicae）（假声带，false vocal cords），它具有假复层纤毛柱状的粘膜上皮，其中未见到杯状细胞。室皱襞的主质为细密结缔组织，有大量胶原纤维和动静脉血管，局部区域有淋巴细胞群。在喉腔壁上没有见到声皱襞（真声带）。据 Грачева（1971）报道，在某些齿鲸类喉部发现有原始状态的声带。关于鲸类发声器官的机制，目前在国际上学者中仍有争论，究竟是气囊或是喉的作用，我们将在今后的工作中，从器官的形态功能上作深入探讨与研究，现尚无法提出结论性的意见。

3. 气管分支系统

从气管逐级分支形成支气管树，直到最小单位——气泡（图版Ⅺ，A、B）。这个完整的系统，实为一个传导空气的空气动力学系统。下面按级表示出来，并逐级描述。



（1）气管　呈扁圆形粗短的气管，其长度仅占体长的4%—5%。它由17—18块形状极不规则的透明软骨环片组成支架，骨片间有弹性纤维形成的韧带连结，构成一个嵌合致密的管道，管壁分3层。

（2）粘膜层　上皮为夹有杯状细胞的假复层纤毛状上皮，基底膜明显，固有膜内有

丰富的弹性纤维、动静脉血管、神经纤维、淋巴组织和浆细胞。

(3) 粘膜下层　与固有膜之间没有明显分界处，这层结缔组织疏松，它与其他动物不同之处在于粘膜下层中没有腺体存在。

(4) 软骨纤维层(外膜)　由软骨和结缔组织构成，软骨间有极为丰富的弹性纤维，其中分布着血管和神经。

(5) 支气管　从气管分出3条支气管，即气管支气管、左支气管、右支气管，3条支气管的分布不是在一个水平上，气管支气管的分叉点位置要比左右支气管上得多。气管支气管和右支气管向下近肺门处各经2次分支为4支进入右肺，左支气管在远离肺门处分出一侧支经2次分支成4支进入右肺，另一支近肺门处分成2支进入左肺。

(6) 支气管树　3条主支气管(气管支气管和左、右支气管)分别成锐角从肺门进入肺内，逐级分支，形成支气管树。管径随着分支愈下愈细，气管支气管分成的4支进入右肺前部，其分支延伸到右肺1/3处。右支气管分成4支进入右肺后，上2支不断分支延伸到右肺中部，下2支向后下伸展，几乎占据右肺下半部。左支气管分成6支进入左肺，上2支伸展于左肺前1/3区域，下4支向左肺中、后、下部扩展，几乎占整个左肺的2/3区域。

气管支气管和左、右支管由不规则软骨环片组成，但绝大多数是闭合的，进入肺内的支气管，也是由软骨环片组成，但这些软骨环片较规则，完整且闭合。不论肺外支气管或肺内支气管树的组织结构与气管一样，管壁分为3层，其不同之处是粘膜层上皮为单层柱状上皮，其中没有杯状细胞。

4. 肺

分为左右两叶，不分小叶。但可根据支气管树的分布情况，显示与其他哺乳动物肺叶相当的位置。气管支气管分支系列位于右肺前部，相当于右肺顶叶(小叶)。右主支气管的一支分支系列位于右肺中部，相当于右肺心叶(中叶)，另一支分支系列位于右肺后部，则相当于右肺隔叶(下叶)。左主支气管的一支，分布在左肺上部，相当于左肺顶叶，另一支分支系列位于左肺中下部，相当于左肺隔叶。这种情况与淡水豚中的拉河豚极其相似(Yamasaki, 1977)(图版Ⅺ, A、B)。

两叶肺的前端及两侧较厚实，外侧缘和后缘薄，肺的背面隆起，腹面微凹，覆盖在心脏、肝脏等器官上，横隔膜从肺的中部斜过。肺的重量相当于体重的1.3%—1.9%，平均为1.6%，一般来说，右肺比左肺稍重。左右肺动脉位于左右主支气管入肺门处的上方背内侧，左右肺静脉则紧贴在左、右主支气管的下方。

肺质松软且富有弹性。它的表面覆盖一层浆膜，即胸膜脏层，具有光滑而潮湿的特性，使肺进行呼吸运动时，减少胸壁的摩擦。浆膜是由含有大量弹性纤维的一层疏松结缔组织和覆盖在表面的一薄层间皮组成，间皮下面有一层发达的胶原纤维。

肺的组织结构，它是由肺实质(支气管树至肺泡)和肺间质(结缔组织、血管、淋巴管)两大部分组成。

支气管在肺间质中分支再分支形成支气管树，无数的小支气管分支到管径1mm以下时，称为细支气管，细支气管的末段称为终末细支气管。从小支气管—细支气管—终末细支气管，按它们在肺中起的作用来说为导管部分，其组织结构如下：

粘膜：小支气管和细支气管的上皮为假复层纤毛柱状上皮，有极少量杯状细胞，终末细支气管的上皮则为单层立方上皮，没有杯状细胞。

肌层：随着支气管的分支，管径逐渐变小，平滑肌束从断断续续到形成连续的环行层围绕于管壁。

粘膜下层：随支气管树分支变细，粘膜下层也逐渐变薄，未见腺体。

软骨纤维膜：软骨随支气管树的不断分支而成不规则的软骨片。小支气管以下软骨为弹性软骨。

除导管部分外，终末细支气管以下的分支结构为肺的呼吸部分，其组织结构如下：

呼吸性细支气管：每个终末细支气管可分出 2 支或 2 支以上的呼吸性细支气管，由此再分支后与肺泡相连。呼吸性细支气管壁与终末细支气管相似。

肺泡管：呼吸性细支气管的分支，也是几个肺泡囊的通道，四周都是肺泡的开口，这里看不到完整管壁，在肺泡囊或肺泡开口处，有大量平滑肌形成膨大部分。

肺泡囊：是几个肺泡共同开口的地方，这里有丰富的弹性纤维。

肺泡：为圆形或扁圆形囊泡，肺泡间的肺泡隔较厚。肺泡壁和肺泡隔有发达的平滑肌和弹性纤维，肺泡隔中还有丰富的毛细血管网和结缔组织。

值得一提的是，白鱀豚气管和支气管树上各级气管的管壁粘膜上皮有一个移行过程。即气管为假复层纤毛状上皮，夹有杯状细胞；主支气管为单层柱状上皮，无杯状细胞；小支气管到细支气管又为假复层纤毛柱状上皮，有杯状细胞；细支气管到呼吸性细支气管逐步移行为单层柱状上皮和立方上皮。

白鱀豚的气管和肺的结构也和其他鲸类一样，为适应水中的生活，与其他陆生动物相比产生了一系列的变化。首先表现在气管分支系列上软骨的分布，陆生动物分布在从气管到细支气管上，以后软骨消失；而那些大洋海豚则一直到肺泡管上还有软骨存在；白鱀豚、拉河豚等淡水豚类，软骨分布从气管到呼吸性支气管上(Yamasaki *et al*., 1977)。显然，这种软骨组织加固了各级支气管壁，以对抗外界水环境的压力。其次表现在气管系统上括约肌组织的分布，大洋海豚中从细支气管直到肺泡有一个强有力的括约肌系统(Burmeister, 1867; Wislocki, 1942；Кйейненберя，1956)，这种突出的结构，使得海豚具有较长的潜水能力。对于白鱀豚这种生活在长江中的动物，只是在呼吸性细支气管进入肺泡管的通道口有括约肌构成的闭锁结构。同时它从支气管直到肺泡都有不同程度的平滑肌，开始时断断续续地出现，随着支气管的分支而增多，形成完整环层，而且整个气管系统都有丰富的弹性纤维，这些特征使得白鱀豚的肺能承受较大压力以及充分进行气体交换，以适应较长时间的潜水能力。

三、消化系统

淡水豚类消化系统的研究，过去学者们做得不多。虽早在 19 世纪就有 Anderson (1878) 和 Burmeister (1867) 对恒河豚和拉河豚的胃作了一些报道，但直到本世纪 Yamasaki *et al*. (1971, 1972, 1974—1977) 才对恒河豚、拉河豚和亚河豚的消化系统分别做了较为细致的研究。至于白鱀豚先有姚闻卿(1974)和陈宜瑜(1975)作过简略外形描述，以后由周开亚、李悦民等(1979, 1981, 1983)陆续对白鱀豚的舌、胃、肠进行了较为详细

的解剖学和组织学研究。

白鳖豚的消化器官虽也像其他哺乳动物一样，由齿、舌、食道、胃、肠以及肝、胰等消化腺体组成，但其亦有自身适应水中生活特殊功能的器官结构，下面分别进行论述。

1. 齿

位于突出的长吻上下颌骨上，白鳖豚的牙齿属同型犬齿，齿式为左上/左下 32/33 右上/右下 33/32；上下共有约 130 颗，白鳖豚以鱼为食，牙齿的作用主要是抓捕鱼类送入口腔，没有咀嚼功能，食物在口腔中不停留直接吞咽，故属囫囵吞型(图版Ⅻ)。

2. 舌

位于口腔底部，形状像一长椭圆形，前端钝圆抵口角前，后端稍平直达会厌基部，在舌背部靠前约 1/3 处有二个小窝(pits)。成体舌长约占体长 7.5%—9%，幼体可达 11%，舌分舌尖、舌体和舌根，至于舌骨则在骨骼系统中详述。

(1) 舌尖　舌前端约 10mm 的长度为舌尖，其前端达上下颌骨最后第三齿处，其后与舌体交界处，在腹面有一长约 15mm 由粘膜褶形成的纵向舌系带，舌尖边缘有稀疏乳状突起(papillary projections)。舌尖完全呈游离状态，它的活动用以调整食物鱼体的方向和位置，使鱼头部先入对向咽喉然后吞下，鱼鳍顺向而入，不致刺伤咽喉和食道。

(2) 舌体　它与舌根的界线是以舌背上二个舌小窝作连线，前面为舌体，后面为舌根。舌体腹面附在口腔底部，两侧呈现游离状态，成体的舌体连同舌尖长度约占舌全长的 1/3，幼体却几乎占了 1/2，舌体前半部两侧边缘有乳状突起，这些乳突数量随着年龄增长而减少。幼体乳突小而多，有时排成 2—3 层；成年个体乳突数量只有幼体的一半，在舌体中部的乳突较粗长，有的顶端有 2—3 个分叉；老年个体乳突数量更少了，大多断裂，在其基部形成疤痕，这种乳突的功能，有的学者认为它是豚类为了适应水中哺乳，乳突卷起使乳汁不能外流而特有的结构(Yamasaki，1977；李悦民，1983)。

在舌体的前半部背面中间有许多舌腺(lingual glands)开口的小孔，后半部背面有由粘膜形成的一些小的弯曲浅沟，舌腺在沟间和沟中亦有开口小孔。

(3) 舌根　在口角和舌小窝连线以后直达会厌基部，舌根的两侧和口腔侧壁相连，它的背面有由粘膜形成的约 2—4 条不等的深纵沟以及许多皱褶，在皱褶上可见到舌腺针尖般小孔开口，幼体舌根上的粘膜纵沟及皱褶都不明显。

李悦民(1983)对舌的组织学结构作了较为详细的观察，舌的上皮为厚约 600—900μm 的复层扁平上皮，上皮可分为三层：由上至下为角质层、棘状层、基底层。基底层为嗜碱性、大核的立方形细胞，棘状层上部厚约 50—400μm，有交错排列的直径约 15—20μm 的棘状细胞 5—30 多层，下部连同基底层一块形成许多齿状突起，它们和固有层共同形成有高有低的互相交嵌的固有层乳头。角质层厚约 10—30μm，由扁平核细胞 2—6 层组成。舌的不同部位其固有层厚度不一，舌前缘仅 200μm，舌中部约 1 000μm，舌根部可达 4 000μm，固有层具有丰富的动静脉血管和神经、可延伸到固有层乳头中，舌内肌为横向的、垂直的和斜行的肌纤维，但无纵向肌纤维。肌纤维中有少量结缔组织，以及丰富的动静脉血管及神经。

(4) 舌小窝和味蕾　根据学者们的多年研究，对鲸类究竟有无舌小窝和味蕾这个

争论的问题，现已逐步得到认识，首先确认不仅海洋鲸类具有舌小窝，淡水豚类也有，并证实有些学者所指轮廓乳头实即舌小窝（秉志，1927；李悦民，1983）。其次是不仅海洋鲸类舌小窝中有味蕾（Suchowskaja，1972；Donaldson，1977；Yamasaki，1978），淡水豚类也有味蕾（李悦民，1983），只是不同种类其小窝的数目、大小、形状和排列各有不同而已，白鳖豚的舌小窝的大小为 5mm×1mm×3—4mm，窝底部有 2—3 个直径约 0.1—1mm 疣状突起。幼体和成体的小窝侧壁和疣状突起的上皮中都找到味蕾。味蕾只分布在上皮厚约 40—60μm 的地方，在小窝入口处上皮（厚约 200μm）和底部（厚约 25μm）中没有味蕾，成体味蕾（高 40—60μm，直径 35—40μm）比幼体味蕾要大些，而幼体味蕾数量比成体要多些，味蕾中有味觉细胞和支持细胞，有时还见味孔，小窝周围可见到少量淋巴结，但在老年个体中却没有发现味蕾，看来味蕾随着年龄增长而减少甚至消失。

（5）舌腺　是一种浆粘液性的复合管泡腺体，分布在上皮固有层底部，有腺管通向舌表面，形似针孔大小的开口，近腺体处腺管直径约 170—260μm，管近表开口处腺管逐小，管径约 70μm。

3．食道

咽喉以后即为食道的开端，食道后部穿过横隔膜与胃相接。2m 体长的个体食道长约 50cm，2.5m 体长的个体食道长约 70—80cm，管径约 5—6cm。食道内壁由粘膜形成一些不到 1cm 高的皱褶，粘膜表面有许多小疣突。

食道的组织结构：上皮为厚约 1.2mm 复层扁平细胞，其表层近于角质化，食道后部上皮与主胃相接处有沟分隔，食道上皮下有约 1mm 厚的固有层，并有发达的乳突伸入上皮，在近主胃的地方固有层内充满管泡状贲门腺，它的柱状细胞直径约 6.5μm，高约 17μm，固有层下为平滑肌层（周开亚等，1979）。

4．胃

白鳖豚的胃较大，在腹腔中呈左右横向的位置（图版 XIII，B）。根据胃室的结构，将它分为主胃 1 室、2 室、3 室及幽门胃，白鳖豚的胃不像恒河豚和亚河豚一样具有前胃（Yamasaki，1971，1974），而与拉河豚相同没有前胃（周开亚等，1979）。根据周开亚等对白鳖豚胃、肠研究结果分述如下：

主胃 1 室是最大的一个室，成年个体长约 30—40cm，宽约 20—25cm，似一肾形，由左向右变曲，右边中部凹陷，胃的左壁较右壁厚，其内腔粘膜层下层特别发达，粘膜层在内腔中形成高约 6cm 的褶，但在食道后部通至主胃 1 室入口处粘膜褶较低，胃底部右侧没有粘膜褶，主胃 1 室右侧凹陷处内壁逐渐狭窄至形成一弯管状，其末端仅有 1cm 的小孔通向主胃 2 室。

主胃 2 室位于 1 室的右面，成年个体长约 11cm，最宽处约 6cm，二端狭窄，底端为 1 室的进口，上端为出口进入主胃 3 室。内壁有 0.8cm 以下的不规则低粘膜褶，粘膜下层不及 1 室的发达，固有膜厚约 1.4mm。2 室与 3 室间有一隔膜将它们分开，有 1 个不到 2cm 的孔相通。

主胃 3 室与 2 室相通处狭窄，后端较宽约 9cm，长约 14cm。内壁粘膜褶较低，仅0.1 cm，固有膜厚约 1.1mm，3 室与其后的幽门胃也有隔膜将它们分开，有一个约 1.2cm 的孔

相通。

幽门胃前部扩大呈球状，宽约5—6.5cm，后部缩小呈管状，长约5—7cm，球状部内壁粘膜不形成褶，固有膜厚约0.8mm，管状部内壁有低纵粘膜褶，固有膜厚约1.3mm。

周开亚等(1979)对胃的各类腺体作了组织学观察。供给胃的消化腺体有：贲门腺、胃底腺、粘液腺、幽门腺。现将它们的组织结构及分布描述如下，并列表(表2-5)。贲门腺的构造与食道内的相同，分布于主胃1室与食道交接处的固有膜内，分布带约8.7mm。胃底腺是一种管状腺体，排列紧密，高约1mm。但在无粘膜褶区仅高约0.5mm，腺体由主细胞(高约10μm，直径约6μm)、壁细胞(直径10—15μm)、和颈细胞(高约12—15μm，直径约4μm)组成。分布在主胃1、2、3室的固有膜中，都特别发达。粘液腺细胞呈柱状，高约14μm，直径约4μm。分布于主胃1、2室的粘膜内。幽门腺的细胞呈柱状，高约14μm，直径约4μm，分布在幽门胃的固有膜中，并由固有膜将腺体分隔。在胃的各室粘膜中都有较多的直径约7μm的嗜银细胞，但以主胃的狭窄处最多。

表2-5 白鳖豚胃腺体分布

Table 2-5 The distribution of gastric glands of *Lipotes vexillifer*

主胃1室	主胃2室	主胃3室	幽门胃 Stomach pylorica
贲门腺 Gland cardiaca 胃底腺 Gland fundus 粘液腺 Gland mucosa	胃底腺 Gland fundus 粘液腺 Gland mucosa	胃底腺 Gland fundus	幽门腺 Gland pylorica 淋巴小结 Lymphouodus

白鳖豚以鱼为食，在我们获得的35头标本中，空胃或内含极少量残渣的个体占多数，其中只有12头具有食物的胃中，有9头仅有极少的小石粒、鱼椎骨、鱼骨碎片及随鱼带入的鱼钩等。仅有3头主胃1室中有刚摄食进的鱼类，正在消化之中，从以上情况来看，白鳖豚的消化能力是相当强的，它们能在较短的时间内将食物消化，还可从误食的鱼钩看到，胃液可将它腐蚀成数段已得到证实。并从白鳖豚胃的结构、消化腺体的分布以及腺体中发达的嗜银细胞等，证实白鳖豚的食物在主胃1室中就进行磨碎，开始消化，再到以后3个室中作进一步的消化。

5. 肠

可分为十二指肠(球部和本部)、小肠和大肠、结肠、直肠、肛管五个部分。淡水豚中除恒河豚有盲肠外，亚河豚、拉河豚和白鳖豚都没有盲肠。肠长为体长的倍数也以恒河豚的最小，仅占3.6—4.9倍(Takahashi等，1972)，白鳖豚则次于亚河豚19.0—20.0倍(周开亚等，1981)和拉河豚24—37.3倍(Yamasaki *et al.*，1975)，根据我们的测量，白鳖豚的肠长为体长的12—16倍(图版XIII，A)。

十二指肠球部前接幽门胃后端，球状直径约4—5cm，十二指肠本部管径1.5cm，管壁较球部的为厚，管长约25cm，从球部伸出约2—3cm后呈"S"形弯曲。第一弯曲处有胰脏尾端伸达到这里，第二弯曲处越过肠系膜根同肠相接，大肠和小肠不易分辨，前、后段肠管径为1.5cm，中段稍细一些。肠的长度在30m以上，成年个体的肠长为体长的12—16

倍，它们在腹腔中盘曲迂回，肠环由肠系膜将它们联结。结肠与大、小肠也没有明显界线，肠环结束后下面的称为结肠，约 1m 长，前段称升结肠，后段称降结肠，管径约 2cm 较升结肠稍大，它接近肾的后端。直肠较短，仅 10—15cm，内壁粘膜没有绒毛，纵褶极为明显，肛管离肛门处约 5cm，近肛门处颜色较暗，在近肛门约 2cm 处的粘膜表面，见到约 10 多个直径 0.5—1mm 的小孔，以及长约 4mm 的纵沟。关于肠的各部组织结构见表 2-6。

表 2-6 白鳖豚肠各部的组织结构（资料来源于周开亚，1981）

Table 2-6 The histological structure of various portions of intestine in *Lipotes vexillifer*

肠部位 Position of intestine	十二指肠 Diverticulum duodeni		小肠和大肠 Intestinum carassum and tenue	结肠 Colon	直肠 Rectum	肛管 Recti
	球部	本部				
长度 Length	4—5cm	25cm	30m，呈盘曲肠状	1m	10—15cm	5cm
管径 Diameter	4—5cm	1.5cm	前后段 1.5cm，中段 1.0cm	升结肠 1.5cm，降结肠 2.0cm		
粘膜 Mucosa	绒毛短	前段绒毛短，到后段逐渐增高	绒毛显著	有绒毛	无绒毛	表面有多个直径 0.1—1mm 小孔及少量长约 4mm 浅沟
固有层 Proprietary layer	0.7mm	1.0mm	0.7mm	0.8mm		0.8mm，形成发达乳突伸入上皮
淋巴结 Lymph	少量分布在粘膜中	分布在粘膜下层	分布在部分肠段	多且发达，分布在固有层中	较多，分布在固有层中	淋巴细胞集中在前段紧密上皮的固有层中
肌层 Muscle layer	1—1.4mm		0.4—0.7mm	1—1.4mm		
肠腺 Intestine gland	腺上部杯状细胞高 15μm，直径 6μm，腺下部充满粘液细胞，高 16—25μm，直径 10—16μm	与球部相同，但有少数腺管伸入粘膜下层	排列紧密，有吸收细胞和杯状细胞	杯状细胞丰富	杯状细胞丰富	粘膜下层有粘液腺和肛扁桃体
其他 Others			近粘膜表面的固有层中具有直径 10—12μm 嗜曙红性细胞			上表皮层有嗜曙红性细胞

6. 肝及胰脏

肝脏分为二叶，右叶较左叶大，紧贴于横隔膜下方，右叶在主胃右侧，左叶在主胃右腹面，成体肝长 42—43cm，宽 24—28cm。白鳖豚没有胆囊，左叶肝管进入右叶中同右叶肝管合而为一向后延伸。胰脏前宽后窄，长 9—9.5cm，最宽处 7—7.5cm，位于十二指肠球部左侧，在幽门胃和十二指肠第一弯之间。胰管分为 3 支，汇合后向前同肝管合并为肝胰管（hepato pancreatic duct）进入十二指肠球部内壁，同环肌并行，肝胰管腺在环肌层间分支盘曲非常发达。

肛扁桃体（anal tonsil）：位于豚体肛管前段的粘膜下层中，它是肛管上皮和淋巴组织

内陷而形成的，直径为0.7—2mm。白鳖豚扁桃体的发达程度仅次于恒河豚（周开亚等，1981）。

四、排泄系统

鲸类排泄器官的研究与其他器官相比，学者们所作的工作要少些。虽早在1680年Tyson(Arvy, 1974)就已报道了鼠海豚肾脏的组织结构，国内Ping(1926)对江豚的肾脏作了简单描述，直到本世纪中叶才有Cave和Arry等(1974)进行了较为系统地研究，其中尤以Cave为首的工作较为出色，他们对多种鲸类的肾脏作了详细的形态学和组织学观察(Cave *et al*. , 1961, 1962, 1964, 1965, 1967, 1974)。至于淡水豚类，除了Cave对恒河豚作了些研究外，还有Pilleri和Gihr(1970、1972)对亚河豚和恒河豚都作了形态学和组织学观察。至于白鳖豚，除陈宜瑜等(1975)报道的白鳖豚形态解剖资料中有简要描述外，以后由刘仁俊等(1986)做了较为深入的解剖学和组织学研究，并对几种淡水豚肾脏结构进行了比较。

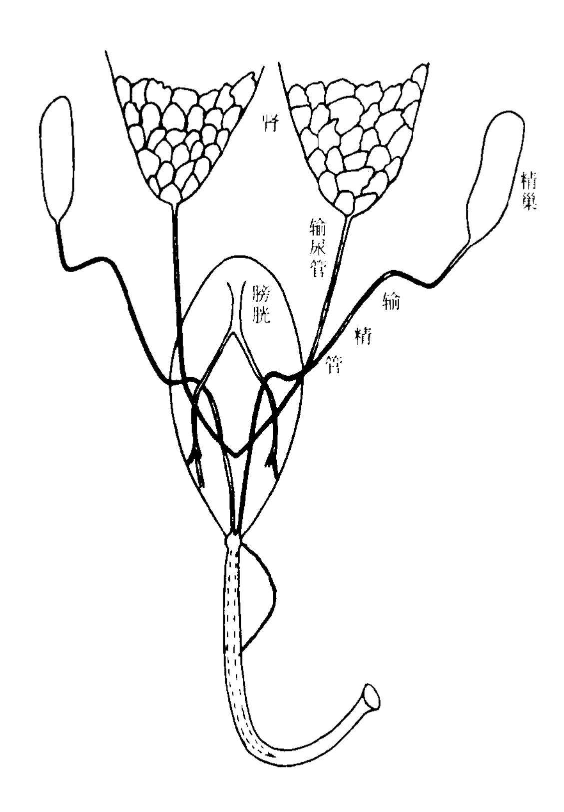


图2-5　白鳖豚排泄器官示意图
Fig. 2-5 Diagram of the excretory organ of *Lipotes vexillifer*

白鳖豚的排泄系统是由肾、输尿管、膀胱及尿道组成。排泄系统的位置与生殖系统紧密相联。左右两肾紧贴腹腔背壁，肾前端紧接形状不甚规则的肾上腺，左右两肾在腹腔壁的位置不在一个水平线上，有的个体右肾稍前，有的个体左肾稍前。左右肾完全分离，位于腹大动脉和小肠末端的两侧，从肾门开始直到输尿管出口处，有一层厚而结实的膜把它们联结起来，并在输尿管出口形成一较大的凹陷区。输尿管从左右肾的1/3处出口，它们粘连在膨大的膀胱基部，然后左右输尿管紧贴膀胱外壁向膀胱游离端伸展，到游离端时有一个针孔大小直径的入口通至膀胱腔。雌性个体的膀胱位于子宫背面，尿道开口于前庭，雄性个体左右输尿管在膀胱游离端基部相合后通至尿道(图2-5)。

1. 肾

白鳖豚的肾(kidney)位于身体后腹部，紧贴腹腔，分左右两个，但亦有例外，曾在解剖的35头标本中，发现在1头体长194cm的个体，它仅有1个左肾。白鳖豚的肾呈扁平椭圆形，靠背壁的一面扁平，游离面圆滑隆起。肾头稍圆，肾尾稍尖(图版Ⅺ,C)。刘仁俊等(1986)对4头雄性9头雌性白鳖豚肾脏分别进行测量(表2-7)。

表 2-7 白鱀豚肾脏测量表(引自刘仁俊等,1986)

Table 2-7 Measurements of the kidney of *Lipotes vexillifer*

性别 Sex	标本号 No.	体长 (cm) Body length	体重 (kg) Body weight	成熟度 State of maturity	左肾 Left kidney						右肾 Right kidney					
					长 (cm) Length	宽 (cm) Width	厚 (cm) Thickness	重 (g) Weight	面积 (cm^2) Area	体积 (cm^3) Volume	长 (cm) Length	宽 (cm) Width	厚 (cm) Thickness	重 (g) Weight	面积 (cm^2) Area	体积 (cm^3) Volume
♂	85-1	137.0	28.0	未成熟	10.1	5.6	3.2	185	122	63	9.2	5.0	3.3	135	106	49
	82-3	180.0	85.8					225						200		
	79-1	181.0	80.0	成熟	13.1	7.0	2.9	150	190	140	13.8	6.9	2.8	150	184	144
	80-5	207.0	142.5	成熟	17.0	9.8	4.2	365	326	321	16.2	8.8	3.8	300	300	260
♀	80-3	184.0	63.5	未成熟	13.4	7.9	2.9	300	204	159	13.0	7.7	2.4	305	212	137
	80-2	223.0	166.5	成熟	11.9	6.9	3.7	150	184	145	12.7	6.8	3.2	150	172	123
	83-1	226.1	165.0	成熟	20.1	9.8	3.0	395	360	420	19.3	10.3	2.9	410	370	445
	83-2	231.0	141.0	成熟	18.3	9.0	4.6	410	351	364	19.2	7.8	5.0	425	364	420
	82-1	232.0	152.9	成熟	17.9	8.9	3.8	350	331	311	17.0	8.5	4.8	400	297	339
	79-2	234.0	142.5	成熟				325						400		
	80-8	239.0	116.5	成熟	17.9	9.5	4.2	300	312	260	17.8	9.0	3.8	300	299	250
	83-3	242.5	121.2	成熟				475						475		
	74-1	250.0	224.0	成熟	23.4	13.4	5.5	410	331	385						

注：测量的肾脏均为福尔马林固定标本。

白鳘豚的肾也与所有鲸类一样由许多小肾组成。整个肾脏外面有一层薄而透明的被膜覆盖，肾被膜伸到肾内形成将小肾包在其中的小囊。小肾在肾体内互相接压，使它们形状各异。白鳘豚没有明显的肾门，仅在肾内侧头端有1条裂缝，此裂缝的长短深浅在各个个体上均不一样，动静脉和神经均由此进出肾体。

（1）小肾（reniculi）的大小与数量　小肾在肾内的排列，大致可分为背、中、腹3层，但中层有的多至2层，故可成为3—4层的排列。小肾的大小随体长的增长而增大，体长180cm个体的小肾直径最小为6mm，最大为2cm，而体长250cm个体小肾直径最小为1.1cm，最大为2.6cm。小肾的数目也是随体长增长而增多，体长137cm的雄性个体，小肾总数为136个，体长181cm的雄性个体，小肾总数为143个。体长223cm的雌性个体，小肾数为108个，体长239cm的雌性个体，小肾数为159个。看来小肾的数目也是随着体长增长而增多。

白鳘豚的小肾数量比恒河豚多，比亚河豚少，而与拉河豚相近。由于恒河豚和亚河豚的成熟个体均比白鳘豚为小，15kg重的恒河豚已是成熟个体，而28kg重的白鳘豚还是不足1龄的幼体，为此刘仁俊等（1986）采用了白鳘豚的幼体和成体，以及多项指标与其他三种豚作比较，但由于拉河豚见诸报道材料不足，为此只能与恒河豚和亚河豚作详细比较了（表2-8）。从表中可以看出，无论白鳘豚的幼体或成体的肾脏重量均比恒河豚和亚河豚为重；而幼体小肾重量、体积和面积、1 000cm^3小肾数，1 000cm^3左肾面积与恒河豚和亚河豚相近。白鳘豚成体左肾重量和体积，小肾的重量、体积、直径和面积要比恒河豚和亚河豚大得多，这样白鳘豚1 000cm^3小肾数相应就减少得多了。但不论幼体或成体，1 000cm^3左肾面积在3种淡水豚中都非常相近。

（2）小肾的外形及显微结构　白鳘豚肾脏主质已完全小肾化了，每个小肾均有完整的膜囊。小肾有单个的，也有分叶的，这种分叶现象表现在幼体和成体小肾上的并生群，幼体小肾上仅呈现裂痕，没有隔膜将它们分开，成体小肾则有较深的裂缝，有的甚至裂开，裂缝间或多或少有隔膜存在。从以上的现象可以推断，白鳘豚肾脏分叶现象是随着个体长大，小肾化逐渐加快，为此长大成熟个体肾脏中单个不分叶的小肾比例增大，并生小肾比例减少（表2-8）。由于小肾在不断的分叶，出现各种并生群，这样小肾的形状也出现了多样，显得不规则。

一个完整不分叶的小肾，内部仅有1个乳头，而外表有1条裂缝分为2叶的小肾，则内部有2个乳头，以此类推。乳头通向肾盂，每个乳头或者有各自的肾盂，或者2个乳头合通到收集管后再到肾盂。

小肾的外被膜是由纤维结缔组织组成，乳头上皮和肾盂内壁上皮均为移行上皮。上皮外壁夹杂少量平滑肌细胞，平滑肌的收缩使尿液向下流动。肾盂壁的组织沿着皮质和髓质交界处向内伸展，形成由胶原纤维和平滑肌组成的髓旁肌肉带（sporta perimedullaris musculosa）。这是一种为鲸类所特有的组织，它的功能至今不明。Cave（1974）的研究认为每种鲸类都有其特定的髓旁肌肉带型，如恒河豚的髓旁肌肉带型为排列整齐的6条带型。但刘仁俊等（1986）对白鳘豚小肾的研究证实它也具有髓旁肌肉带群，但从50个小肾作厚度为0.15mm的连续切片中观察，小肾中没有髓旁肌肉带的占32%，有1条的占38%，有2条的占16%，有3条的占4%，有的小肾中髓质则被髓旁肌肉带整个包住，由此

看来，白鳖豚的髓旁肌肉带并未构成特有的排列类型。

表 2-8 淡水豚肾脏的比较(引自刘仁俊等，1986)

Table 2-8 Comparison of kidneys among freshwater dolphins

种 Species	恒河 *Platanista gangetica*	亚河豚 *Inia geoffrensis*	白鳖豚 *Lipotes vexillifer*	白鳖豚 *Lipotes vexillifer*	拉河豚 *Pontoporia blainvittei*
体重(kg) Body weight	15	57	28	166.5	
体长(cm) Body length	34	208	137	223	
左肾重(g) Left kidney formalin weight	31	87	100	150	
左肾体积(cm^3) Left kidney formalin volume	30	840	630	145	
小肾重(g) Formalin weight of reniculus (arithmetic mean)	0.43 N=40	0.51 N=40	0.55 N=40	1.125 N=40	
小肾体积(cm^3) Formalin volume of one reniculus	0.46	0.49	0.475	1.4	
小肾直径(mm) Diameter of one reniculus (arithmetic mean)	10.41 N=40	12.5 N=40	10.6 N=40	14.725 N=40	
小肾面积(mm^2) Area of one reniculus (arithmetic mean)	352 N=40	430 N=40	322.1 N=40	728.55 N=40	
小肾数 No. of reniculi per kidney	65	170	136	108	110—120
1 000cm^3 小肾数 No. of reniculi per 1 000cm^3 of idney	2 174	2 020	2 543	947	
左肾面积(mm^2) Area of the left kidney	22 880	73 100	12 200	18 400	
1 000cm^3 肾的面积(mm^2) Area of 1 000cm^3 of kidney	765 248	868 600	819 100	689 937	

注：恒河豚和亚河豚的资料引自 Pilleri and Gihr, 1972。

小肾的显微结构与人类的极为相似。皮质部分：有大量的卵圆形肾小体，从 50μm 的视野中见到 88 个，肾小体最大直径为 188μm。肾小体由血管球 Bowman 氏囊组成，血管球最大直径为 140μm，肾小体的血管极有明显的致密斑(macula densa)，这种结构在其它鲸类中尚未见报道。肾小体周围满布近曲小管和远曲小管，近曲小管管壁为单层锥状或立方上皮，上皮表面有刷状缘；远曲小管管腔较规则，管壁为单层立方上皮，上皮表面没有刷状缘。髓质部分：内有分布密集的近曲小管直部、远曲小管直部和集合管。近曲小管和远曲小管的组织结构与皮质中的相同。集合管壁为单层立方上皮，细胞界限清楚，胞质清澄，胞核着色较深。

(3) 肾脏血管分布及排尿机制　　白鳖豚没有明显肾门，肾头部内侧有一裂缝，动静脉血管从这里进出，肾动脉血管是由腹主动脉直接分出来的。白鳖豚除极个别个体例外，大多数个体的肾脏内侧还有 1 对来自左右肾间系膜的动静脉进入肾内，另有少数个体有 2 对动静脉进入肾内。入肾动脉管径约 6mm，以后进行分支(管径约 3mm)，再分出小支(管径约 1mm)，同时发出许多次级分支。静脉与动脉并列，在进出口处静脉管径约 7mm，分支管径为 4mm，再分出许多次级分支满布肾头区，另分支及许多次级分支伸向肾体中

部，并与肾系膜来的静脉支汇合伸展至肾中后部。

动静脉在肾内经过多级分支形成各自的血管网络，最后的毛细血管形成入球小动脉，进入皮质部中广泛分布的肾小体，组成肾小体血管球，血液在这里排出原尿，由各级集合管形成尿液，通过输尿管和膀胱排出体外。血管球中的毛细血管再汇集成出球小动脉离开肾小体，形成球后毛细血管网，再集合成小叶间静脉以及各级静脉分支从肾脏出来。

2. 输尿管和膀胱

左右肾在腹腔中的位置不在一个水平线上，因此同一个体中左右输尿管的长度也不相同。输尿管从肾的后1/3处出来，左右输尿管向后延伸至膀胱。左右输尿管长约14—18cm，两者约4cm之差，它们的直径一般为0.5cm，膀胱呈卵圆形。输尿管和膀胱的组织结构基本相同，腔壁均为移行上皮和肌层组成，基膜不清楚，腔内粘膜有许多纵行皱襞，起到收缩和扩张的作用(图版Ⅺ，C)。

五、骨骼系统

对动物骨骼系统的研究，一般都与探讨该动物在系统演化中的地位联系起来而进行的。白鳖豚骨骼系统的研究，也是始于1918年Miller对白鳖豚的头骨和颈椎(保存在华盛顿美国国立自然博物馆USNM218293)进行了测量、比较和分析，而将它归属于亚河豚科的。Flower早在1869年就对亚河豚和恒河豚的骨骼作了描述和比较，将它们归属于鲸目，以后许多学者为了弄清几种淡水豚的亲缘关系，而对它们的骨骼系统进行了比较研究。Hinton和Pycraft(1922)、Hinton(1936)对另2头白鳖豚骨骼标本(保存在纽约美洲自然历史博物馆AMNH57333和伦敦英国自然历史博物馆BMNH22-6,22-1)予以描述和比较；Bree和Purves(1975)测量3头白鳖豚的头骨；Fraser和Purves(1960)、Kasuya(1973)特别研究了亚河豚、拉河豚和白鳖豚的听觉器官中的鼓围耳骨；Brownell和Herald(1977)对白鳖豚的头骨、鼓围耳骨和脊椎骨也作了描述、测量和计数；Pilleri和Gihr(1976)对恒河豚、亚河豚和拉河豚的骨骼都做了较为详细的工作；陈宜瑜和陈炜(1975)对白鳖豚的头骨和脊椎骨进行测量和计数。但对白鳖豚骨骼系统研究得最为详细的还属周开亚、钱伟娟和李悦民(1979)，他们对白鳖豚的骨骼系统作了较为细致的工作，使用五副骨骼标本并增加4个头骨作为研究材料，将所得结果与前人的研究资料，对4种淡水豚作比较，提出了淡水豚类的亲缘关系及在分类学上的新观点。本节介绍周开亚等(1979)的工作。

骨骼系统分为：头骨、脊椎骨、肋骨及胸骨、肢骨(图版Ⅺ，D)。

1. 头骨

周开亚等(1979)对14个白鳖豚头骨作了较为详细的测量。从测量的结果可以看出雄性头骨的长度为472—510mm，雌性的为530—650mm；吻长占头骨全长的67.8%—71.0%。

白鳖豚长吻的特点是：吻狭长，前端微上翘，后部较前部宽；上齿列后端与眶前间向内凹陷，吻侧有侧沟，吻腹面的两上颌骨间有浅沟延到上齿列处，犁骨延到浅沟后部，有一

小段犁骨在上颌末齿处被上颌骨覆盖。

上颌骨基部向后扩展，在头骨后缘同上枕骨相接。上颌骨后内缘与鼻骨连接，同时与前颌骨一起组成外鼻孔的侧壁。上颌骨侧缘在眼眶上突处向下形成弓形弯曲。上颌骨后侧缘稍盖到颞窝上方。

下颌骨长约占头骨长的88%—92%，前端也略上翘，下颌骨的联合较长，约占下颌长的一半，联合段两齿列间有纵沟。下颌骨的冠状突和髁状突都较为明显突出，髁状突的直径达35—61mm，约为下颌骨高的一半，下颌骨联合后的一段上有7—8个齿槽（图版Ⅻ）。

白鱀豚的外鼻孔后端宽于前端，似一梨形。它的位置向后移，距上颌骨前端较远，鼻道稍向前弯，鼻孔不在头骨正中线上而略偏左，因此外鼻孔后的上颌骨左侧窄于右侧，外鼻孔后方也略偏左，这里额骨形成一显著隆起。鼻骨小且愈合在额骨隆起的前壁上。

眼眶在鼻道前，其直径稍小于颞窝长的一半，颞窝较大，它的长度可达130mm，约占头骨全长的19%—22%，因此在间颅两侧占了很大空间。额骨眶上突（supraorbital process of frontal）靠近额骨前缘，额骨和顶骨在离眼眶后较远处接界。顶骨上缘达到上颌骨后缘，顶骨下端止于鳞骨，鳞骨在镰状突（falciform process）外侧向前伸出狭窄骨片与额骨相接，并将顶骨与翼蝶骨隔开。

白鱀豚的泪骨同颧骨愈合在一起，颧骨稍侧扁，其后端扩大与强大的鳞骨颧突相接。鼓鳞骨窝（tympano squamosal recess）的前端稍窄，它达到或超过颧突长的一半处。

犁骨的后部扩展成扇形，其最大宽度可达45—64mm，它的腹面盖住前蝶骨。两侧的腭骨在腭中线相接，犁骨不将它们分隔开。腭骨后端在内鼻孔前同犁骨相接，腭骨在眼眶前缘向后外侧分出游离骨片。翼骨构成鼻道下段的前壁和侧壁。翼骨不完全覆盖腭骨，翼骨后部沿犁骨的后缘伸延，在靠近基蝶骨处有一深缺刻。翼突钩（pterygoid hamuli）有折向背方的穿孔薄骨片，与腭骨外侧的游离缘相接，形成夹腔。两侧翼突钩被腭骨和犁骨隔开，腭骨腹面没有被翼骨完全盖住。

头骨的后枕部，各类枕骨均与基蝶骨完全愈合，但上枕骨、外枕骨与基蝶骨之间有微突出的嵴，上枕骨和顶骨间也有人字嵴，将它们区分开来。上枕骨宽大于高，头后缘平直，并在中间有一条上下纵骨嵴。副枕突（paroccipital process）与基枕骨间有深缺刻。

舌骨是由基舌骨、茎舌骨及左右甲舌骨组成。基舌骨紧接左右甲舌骨，但并没有愈合。茎舌骨长而稍曲，有软骨与基舌骨相连。据周开亚等对二头舌骨的测量，基舌骨长29.33mm，茎舌骨长127mm、154mm，宽16mm、18mm，两甲舌骨远端相距155mm、185mm。

“浮骨”，在呼吸系统节中详细描述其形状，大小以及组织结构。

2. 鼓围耳骨及听小骨

它们是听觉器官的一部分，结构复杂，学者们喜将其独立出来进行研究。周开亚等对5头白鱀豚的鼓泡及围耳骨作了测量。

鼓泡（tympanic bulla）长500mm左右，宽约28—29mm，高约29—30mm，宽与高几乎相等。鼓泡后宽前窄，没有突出的前棘（anterior spine），外后隆（outer posterior prominence）基部膨大，腹面有圆形隆起。内后隆（inner posterior prominence）低而窄，表面粗糙，腹隆突（ventral keel）不显著。耳形突（sigmoid process）宽厚，后缘呈弓形，后内侧有

椭圆形突起的锥形突(conical process)。鼓泡后突(posterior process of tympanic bulla)的前部有外脚和内脚分别和锥形突基部及卷缘(involucrum)相连。内外脚间留有一个边缘不规则的椭圆孔(elliptical foramen)。

围耳骨(periotic)长约35—40mm,厚约11—13mm,宽约22—25mm,蜗部直径为21—22mm左右。围耳骨上突与前突和后突有不太明显的分界,上突前外侧有发达的嵴向腹面弯曲,与耳形突上端相接;狭窄的前突腹面贴近鼓泡外侧缘;后突的后侧方有嵴和沟与鼓泡后突相连;有容易脱落的棒状小骨附在圆窗(foramen rotundum)背后方的凹窝上。

内耳道底(fundus of internal auditory meatus)较深,向外后方倾斜,其长约7—9mm,宽约5.5—7.0mm。在内耳道底上部前外侧有面神经管内孔,其后有较小的单孔(foramen singulare),单孔比面神经管内孔更深更接近螺旋状孔道(tractus spiralis foraminosus)。

鼓围耳骨与颅骨连结的方式,不同种类亦不同,周开亚等的观察认为白鳖豚的鼓围耳骨的鼓泡后突,通过鳞骨腹面鼓鳞骨窝后的三角形区与颅骨保持松动的直接连结。鼓泡后突还与副枕突相接。

听小骨是由锤骨、砧骨和镫骨组成。

锤骨较粗大,略呈椭圆形,锤骨柄外侧向腹面有突出三角形骨片的前突(又称锤骨细突),前突外缘与鼓泡背的外侧壁愈合。锤骨柄的前端背面小结节上附着鼓膜肌(tensor tympani muscle);锤骨柄前腹侧面有尖端朝下的钩状突起,称之为短突(processus brevis)。锤骨头的后端有两个互成夹角的关节面,它们与砧骨形成锤砧关节。

砧骨极短,其前端微凹,与槌骨头形成锤砧关节。砧骨的短脚(crus breve)向后有韧带附着到围耳后突基部前方的浅凹处。长脚(crus longum)比短脚粗,与短脚形成一锐角,其末端的豆状突(processus lenticularis)与镫骨头相接成为砧镫关节。

镫骨位于砧骨的后内侧,略呈马蹄形,镫骨头内侧有小结节,其腹面与砧骨长脚的豆状突关节。镫骨前脚较后脚粗,二脚形成圆形的脚间孔(intercrural foramen)。卵圆形的镫骨底面内凹,这里有韧带连接在卵圆窗(foramen ovale)上。

3. 脊椎骨、肋骨及胸骨

(1)脊椎骨　　周开亚等根据10头白鳖豚的脊椎骨进行计数,并描述它们的特点。脊椎可分为颈椎(C)、胸椎(T)、腰椎(L)及尾椎(Ca),白鳖豚的椎式为:$C_7T_{10-11}L_{4-8}Ca_{19-21}=41—45$。

颈椎为7块完全分离的短椎体组成,C_1的棘突低于C_2,横突也短小,但有发达的基突。C_2棘突宽且厚,前低后高,横突粗大,椎体腹面有关节面与C_1椎体及基突相关节,C_{3-5}没有明显棘突,C_{6-7}有微小棘突。C_5横突小而前弯,C_6下横突最大,为扇形的宽扁骨片。

(2)胸椎及肋骨　　胸椎为10—11块,除T_1棘突较小外,其它的棘突都高而显著。椎体也是T_1最短,愈后则椎体愈长,最后的一个椎体比T_1要长1倍。T_1椎体两侧前后缘都有肋面(costal facet),T_{2-5}只有后缘有肋面,T_6则后缘肋面消失或仅存痕迹,前缘有微小突起,T_7椎体只有前缘有肋面,T_{8-11}椎体肋面与横突愈合,T_{7-8}以后椎弓基部有斜向前方的乳状突(processus mammilaris)。

肋骨为10—11对,前4对肋骨由未骨化的软骨直接连于胸骨上,第五至第六对肋骨

由肋软骨间接与胸骨相连,第七至第十一对肋骨则呈游离状态。

腰椎为 4—8 块,其特点是棘突高,乳状突扁而尖长,横突长。

尾椎为 19—21 块,Ca_1 只在椎体后缘有人字骨(chevron bone)的附着嵴,从 Ca_2 开始,椎体的前后缘都有发达的嵴,到 Ca_{8-13} 以后逐渐缩小直至消失。从 Ca_{4-6} 开始横突基部有尾动脉的穿孔。

胸骨的特点是愈合成一左右不对称的骨板,前宽后窄,前缘中间稍凹,两端伸出成角,微向上翘。胸骨后部有软骨。白鳖豚胸骨与亚河豚的显著不同(图 2-6)。

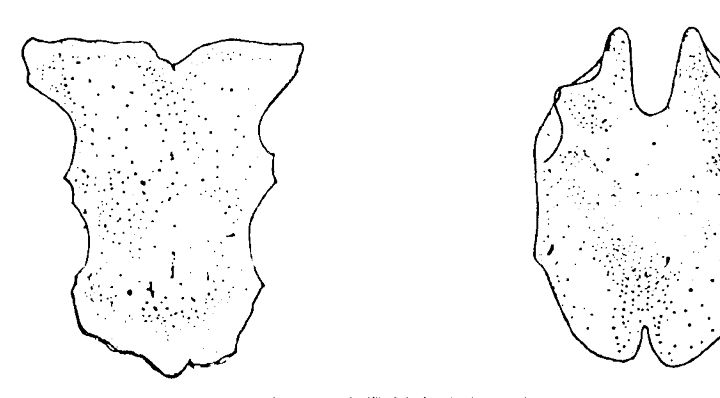


图 2-6 白鳖豚胸骨腹面观

Fig. 2-6 The thoracic bone of *Lopotes vexillifer*

左:白鳖豚;右:亚河豚(引自 Flower,1869)。

4. 肢带及肢骨

肩胛骨似斧形,前缘和椎骨呈直角相交,肩峰较宽,喙突较狭长。

鳍肢骨:肱骨、桡骨和尺骨都宽而短,但肱骨比桡骨和尺骨稍长。据周开亚等对 4 头白鳖豚的鳍肢骨的测量,其肱骨中线长为 65—91mm,桡骨中线长为 46—59mm,尺骨中线长为 46—61mm。腕骨有 4—5 块。掌骨为 5 块,掌指式:I_{1-2},II_6、III_5、IV_4,V_{3-4}。周

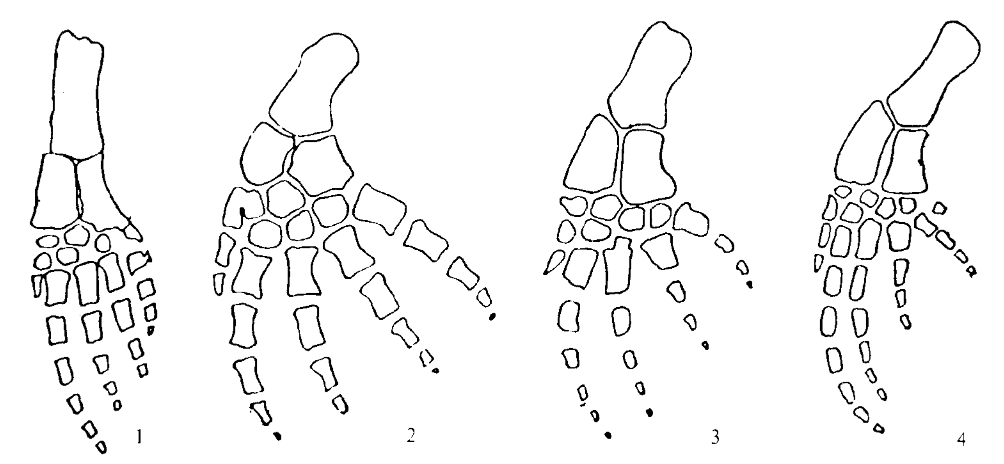


图 2-7 淡水豚鳍肢骨的比较(引自周开亚等,1979)

Fig. 2-7 Comparison of flipper in freshwater dolphin

1. 白鳖豚 *Lipotes vexillifer*;2. 恒河豚 *Platanista*,自 Pilleri and Gihr (1976) 转引 van Bree and Trebban (1974);3. 拉河豚 *Pontoporia*,自 Pilleri and Gihr (1976);4. 亚河豚,自 Pilleri and Gihr (1976)。

开亚等还将白鳘豚的鳍肢骨与恒河豚(Van Bree *et al.*, 1974),亚河豚和拉河豚(Pilleri *et al.*, 1976)的鳍肢骨作了比较(图 2-7)。

腰痕骨(pelvic rudiment):白鳘豚也和其他鲸类一样,在接近生殖孔的腹壁附近有一对小骨,学者们一直认为该小骨是腰带的痕迹器官,称它们为腰痕骨,但也有学者否定这个观点,认为它们是腹骨(Arvy, 1976),这个问题有待今后作进一步探讨。

六、神经系统:脑、脑神经及听觉和视觉系统

1. 脑

鲸类是一种较为高等的水生哺乳动物,它们的大脑特别发达。学者们带着极大兴趣从事鲸类脑的研究,希望了解它们脑的结构,揭示它们适应水中生活在脑结构上表现出的特征与功能。自 Wilson(1933)对 Baloenoptera 鲸脑的解剖作了详细描述后,鲸类脑的研究时有报道(马凌汉等,1963; Kruger, 1966; Morgane *et al.*, 1980; Pilleri and Chen, 1982)。

至于淡水豚类方面,有 Gruenberger (1970),Pilleri (1972) 以及 Kamiya 和 Pirlot (1980) 等学者开展了亚河豚和恒河豚脑的工作,陈宜瑜 (1975,1979) 对白鳘豚脑作了较为深入的解剖工作,详细描述白鳘豚脑各部的形态特征,测量了 3 头豚的各部长度比例,并有图片标明各部位置。我们在此基础上,对白鳘豚大脑作了额横切片和纵切片(图版 XIV — XXII)。

白鳘豚脑的外形,整体来说,脑两端窄中间宽大,大脑非常发达,分为左右两半球,在它们的两侧枕缘稍弯,将小脑覆盖 2/3。从脑的背面观(图版 XIV, a)可见较为完整的大脑左右半球及小脑极少部分。大脑的宽大于长,吻端稍窄,最宽处在颞叶(temporal lobe)前侧,使整个大脑似一等边梯形。脑的底面观(图版 XIV, b),脑端的嗅结节(tuberculum olfactorium)较大,没有梨形区(pyriform)。各对脑神经都从底面伸出,底面中部有似梯形的桥脑(pons),其后为较为发达的延脑(medulus oblongata),延脑后可见下橄榄体(oliver inferior)。吻端面观(图版 XV, c),仅见大脑左右两半球,正中裂(fissura mediana)清晰,大脑前端窄,后端宽,背部隆起,极少部颞叶露出。尾端面观(图版 XV, d),大脑正中裂与后端枕叶(occipital lobe)基部呈 120 角度分开,后端显示大部分小脑。脑侧面观(图版 XVI, e),见大脑的长稍大于高,有明显的薛氏裂(fissura sylvii),该裂与颞叶基部呈 50 度角。脑中正内侧面观(图版 XVI, f),见到胼胝体(corpus callosum)的剖面,其前端膝部与后端压部较厚,体部较薄,膝部向下倾斜,中间块(massa intermedia)及桥脑的较大。

对白鳘豚脑的各部位进行了测量,见表 2-9,还测定了脑的重量(表 2-10),计算出脑占体重的 0.25%—0.49%。

(1) 大脑　　白鳘豚大脑的沟回纵横,较为发达。薛氏裂是大脑左右半球上最为明显的裂沟,它从大脑底中部沿颞叶侧向后上方伸至脑背部(图版 XIV, a)。外薛氏裂(fissura ecto-Sylvia) 从吻端球绕薛氏裂,向后弧形延伸至颞叶基部。上薛氏裂(fissura supra-Sylvia)在外薛氏裂上,与其走向平行,两者间有间断纵横沟。大脑背面(图版 XIV, a) 清晰可见侧裂 (fissura lateralis), 内侧裂 (fissura endolateralis) 和外侧裂 (fissura ectolateralis),3 条侧裂走向几乎平行,外侧裂沿左右半球的背中线从吻端延伸至枕极

(occipital pole),内侧裂近大脑纵裂边缘,侧裂居中,与大脑纵裂走向平行,止于吻端上裂带(fissura pleninalis)的上方。

表 2-9　白鳖豚脑的测量(mm)(73-1 409,74-0001, 74-Ⅰ-002 数据引自陈宜瑜,1979)

Table 2-9　Measurements of the brain of *Lipotes vexillifer*(mm)

标本编号	83-Ⅲ-02	73-Ⅹ-1409	74-Ⅰ-0001	74-Ⅰ-0002
脑总长	99	90	103	99
大脑长	90	83	95	92
大脑宽	114	96	108	116
大脑高	71	81	78	79
颞极至尾极长	49	52	59	60
颞极至额极长	41	34	40	35
薛氏裂长	右 36 左 28	32	34	34
颞叶间最短距离	35	32	29	35
嗅结节长	右 13 左 14	-	-	-
嗅结节宽	右 21 左 23	19	20	23
大脑半球长	43	38	40	42
大脑半球高	37	41	38	43
小脑宽	80	76	78	75
小脑蚓部长	41	34	41	36
小脑蚓部高	32	30	26	-
中脑宽	34.5	30	32	34
四迭体宽	28	27	30	
上迭长	右 7.5 左 7	-	5.5	-
上迭宽	右 8 左 8	-	5	-
下迭长	右 9 左 10	-	10 .	-
下迭宽	右 14 左 16	12	13	-
桥脑长	20	21	21	19
桥脑宽(三叉神经基部)	35	31	28	30
桥脑-小脑距	47	-	-	-
下丘脑长	8	-	-	-
下丘脑宽	8	7.5	8	8
漏斗隐窝长	3	2.5	3	3
漏斗隐窝宽	-	3	3	3
胼胝体长	25	-	38	-
胼胝体最大宽	7.5	-	-	-
胼胝体最大厚	-	-	3	-
胼胝体膝部至吻极间距	20	-	21	-
延脑长	35	23	22	22
延脑宽(听神经基部)	21	23	26	23
中间块长	11	-	-	-
中间块高	15	-	-	-
下橄榄体长	右 12 左 13	14	15	13
下橄榄体高	右 7 左 8	-	-	-
下橄榄体宽	-	12	12	12

表 2-10　白鳖豚脑重与体重的关系

Table 2-10　Relation of body weight and brain weight of *Lipoles vexillifer*

豚　号	73-Ⅹ-1409	74-Ⅰ-001	74-Ⅰ-002	82-Ⅱ-01	82-Ⅲ-02
体重 kg Body weight	95	224	237	153	141
脑重 kg Brain weight	0.47	0.55	0.59	0.54	0.528
%	0.49	0.25	0.25	0.35	0.37

从大脑正中内侧面观(图版XVI，f)，可以见到膝裂(fissura genualis)、带状裂(fissura splenialis)、上带裂(fissura suprasplenialis)、后带裂(fissura retrosplenialis)及疆裂(fissura confinis)，膝裂沿胼胝体膝部，止于胼胝体中部。带状裂在膝裂外沿膝裂向前走向吻端额叶，向后与后带裂相连接。

后带裂向后通至嗅裂，在颞叶的底面有与其相界的海马回钩(uncus)。上带裂在带状裂上，和它相平行走向，但向前转向额叶面后则折向上，与疆裂相接，疆裂与纵裂平行走向，向前延至吻额叶。脑岛在嗅结节的上方的岛盖下，脑岛没有明显的沟回(陈宜瑜，1979)。

(2) 脑干部　有间脑、中脑、桥脑和延脑。

(3) 间脑　在脑底面可见部分下丘脑，这里盖有连接漏斗的灰结节，漏斗前的左右侧伸出视束，漏斗后连垂体。第三脑室(ventriculus tertius)的高大于长，由终板(lamina terminale)构成脑室的吻壁，没有前联合(commissura anterior)，后联合(commissura posterior)也不清楚，同所有鲸类一样没有松果体(corpus pineale)。

(4) 中脑　比较宽大，在脑底面两侧大脑脚(padunculus cerebri)间有较深的脚间窝。四迭体位于脑中纵轴两侧，上迭体(colliculus superior)较小，下迭体(colliculus inferior)较大，圆形隆起，，四迭体与大脑脚间有较发达的中脑导水管(aquaeductus mesencephali－Sylvii)。

(5) 桥脑　稍似梯形，前端游离边缘稍弯曲，后端与延脑相连，从桥脑两侧伸出粗大的桥脑臂(brachium pontis)与小脑相联。

(6) 延脑　前端与桥脑相连，但两者界限明显，延脑底有发达的斜方体(corpus trapezoideum)和下橄榄体，在桥脑和延脑的背面，以及小脑的底面有一菱形第四脑室(ventriculus quartus)。

(7) 小脑　陈宜瑜(1979)对白鳘豚小脑作了较为仔细的观察与描述，并作图标出各部结构。白鳘豚的小脑比大脑要小得多(表2-9)，其重仅占脑的11%。小脑外表似马蹄形，它的两侧向腹面包卷，背面稍为隆起，腹面清晰可见与其相联的桥脑臂，从小脑的背面观，看到小脑中部较为窄狭的蚓部，其两侧有副正中沟(sulcus paramedianas)将蚓部与小脑半球分开。白鳘豚小脑和其它鲸类一样，首裂(fissura prima)前的小脑前叶部分很少，在山顶(culmen)两侧仅有2—3片前小叶(lobulus anterior)，小脑后叶部分发达，山坡(declive)侧面有3—4片简单小叶(lobulus simplex)蚓小叶(folium vermis)的两侧有套状小叶(lobulus ansiformis)，附中小叶(lobulus paramedianus)夹在套状小叶和小脑两侧面的傍绒球中间。傍绒球是从蚓锥(pyramis)和蚓垂(uvula)的两侧扩展出来的，它们分为背傍绒球(paraflocculus dorsalis)、腹傍绒球(paraflocculus ventralis)和副傍绒球(paraflocculus accessorius)，三类傍绒球非常发达，它们从小脑两侧向底部卷曲。小脑底面蚓垂下为4—5片小叶组成的蚓小结(nodulus)，其侧与绒球脚(peduncculus flocculi)相连，绒球脚的另一端连接具有2—3片小叶的绒球(flocculus)，绒球侧面与副傍绒线球相连(图2-8)。从小脑蚓部的剖面可见到各裂的分布(图2-9)。

从脑的纵横大切片上，可以较为清楚地见到各部位置以及核的分布。额横大切片前后共11片，从大脑端至胼胝体前(图版XVII，F 1—2；图版XVIII，F 1—3)，可见到较深的沟裂。在胼胝体膝部及体中部(图版XVIII，F 4—6)，这里集中有各类核的分布，有尾状核

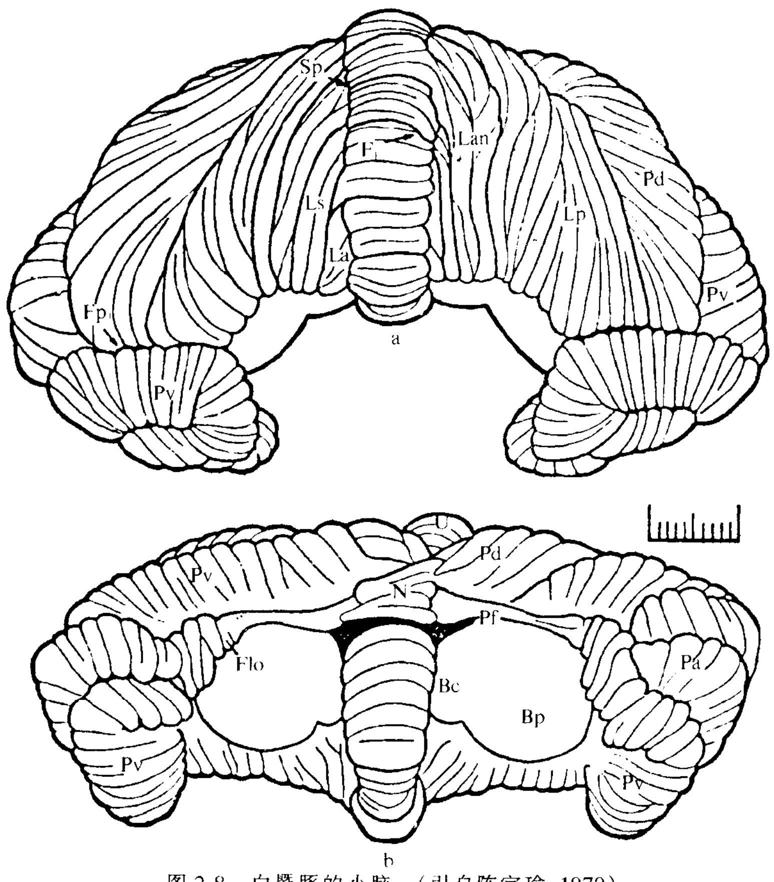


图 2-8　白鳖豚的小脑　(引自陈宜瑜,1979)

a. 背面观；　b. 底面观。

Fig. 2-8　The cerebellum of *Lipotes vexillifer*

a. Dorsal view;　b. Ventral view.

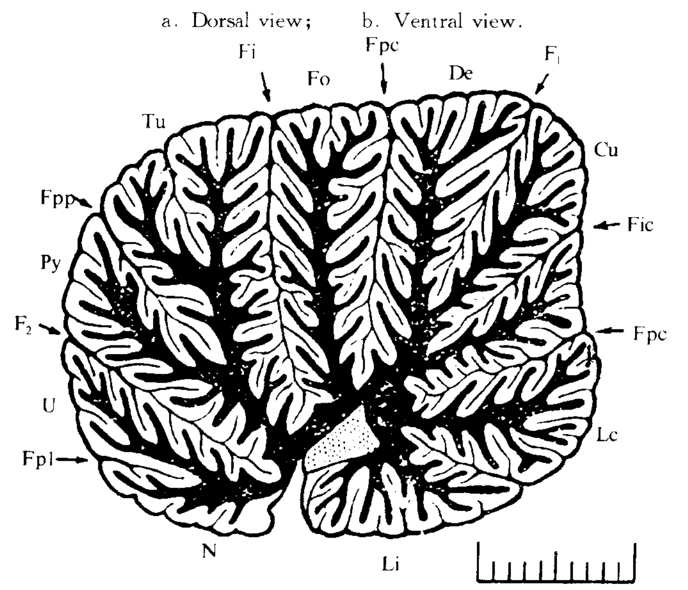


图 2-9　白鳖豚小脑蚓部纵剖面(引自陈宜瑜,1979)

Fig. 2-9　The longitudinal section of vermis cerebelli of *Lipotes vexillifer*

(nucleus caudatus)、屏状核(claustrum)豆状核(putamen)、杏仁核(nucleus amygdalae),这些核均由内囊(capsula interna)和外囊(capsula externa)将它们分开。脑干部的切片(图版ⅪⅩ,F 7—9),可见到侧脑室、发达的丘脑、下迭体、桥脑以及小脑内的齿状核(nucleus dentatus cerebelli)。脑纵大切片(左半球)共7片(图版ⅩⅩ—ⅩⅫ,P 1—7),在切片面上可见各纵横裂的分布,在脑半球中部看到杏仁核、尾状核、侧脑室及较大的丘脑。

2. 脑神经

在脑底部可以看到12对脑神经的分布,白鱀豚和其他鲸类一样,没有嗅球和嗅神经(nervus olfactorius)。视神经(nervus opticus)极细,一般只有2.0—2.5mm。动眼神经(nervus oculomotorius)极度退化,仅1—2mm。滑车神经(nervus trochearis)没有见到,可能已完全退化。三叉神经(nervus trigeminus)较为发达,粗约5—6mm。外展神经(nervus abducens)也是极度退化的,其直径仅0.8mm。面神经发达,粗约4—4.5mm。听神经(nervus acusticus)是白鱀豚脑神经中最为发达的一对,它粗大直径约6.5—8.0mm。舌咽神经(nervus glossopharyngicus)、迷走神经(nervus vagus),副神经(nervus accessorius)以及舌下神经(nervus hypoglossus)这四对神经,由许多神经根丝组成神经束,其中以迷走神经束最粗,约5.5mm,舌咽神经束最细,仅1.5mm(表2-11,图版ⅪⅤ,b)

表 2-11 白鱀豚脑神经直径的测量(mm)

Table 2-11 Measurement of the diameter of cranial nerves of *Lipotes vexillifer* (mm)

	标本编号	83-Ⅲ-02	73-Ⅹ-1409	74-Ⅰ-0001	74-Ⅰ-0002
1	嗅神经(无嗅球和嗅神经)	—	—	—	
2	视神经(较细)	2.5	2.0	2.0	2.5
3	动眼神经(极度退化)	2.0	1.0		1.0
4	滑车神经(未见)	—	—	—	
5	三叉神经(发达)	6.0	5.0		6.0
6	外展神经(极度退化)	0.8	—	—	0.8
7	面神经(发达)	4.0		4.0	4.5
8	位听神经(发达,最粗大)	7.6	6.5	7.0	8.0
9	舌咽神经(神经根丝多)	1.5	—	—	
10	迷走神经(神经根丝多)	5.5	—		—
11	副神经(神经根丝多)	2.5	—	—	—
12	舌下神经(神经根丝多)	2.0	—		—
	脊髓横径	14.0	10.0	11.0	10.0
	脊髓纵径	8.0	8.0	9.0	9.0

图版中名词缩写 Abbreviation in the Plate

Adi	Adhaesio interthalamica (Massa intermedia)	中间块
As	Aquaeductus Sylvii	导水管
Brp	Brachium pontis	桥臂
Cc	Corpus callosum	胼胝体
Ce	Cerebellum	小脑
Cex	Capsula externa	外囊

Chi	Chiasma nervorum opticorum	视交叉
Ci	Capsula interna	内囊
Cl	Claustrum	屏状核
Coi	Colliculus inferior	下迭体
Cop	Commissura posterior	后联合
Cos	Colliculus superior	上迭体
Cu	Culmen	山顶
De	Declive	山坡
F	Fornix	穹窿
F1	Fissura prima	首裂
F2	Fissura secunda	次裂
Fco	Fissura confinis	疆裂
Fel	Fissura ectolateralis	外侧裂
Fen	Fissura endolateralis	内侧裂
Fes	Fissura ectosylvia	外薛氏裂
Fge	Fissura genualis	膝裂
Fic	Fissura intraculminata	内原裂
Fip	Fossa interpeduncularis	脚间窝
Fl	Frontal lobe	额叶
Fla	Fissura lateralis	侧裂
Flo	Flocculuus	小脑绒球
Fm	Fissura mediana	正中裂
Fo	Folium vermis	蚓小叶
Fp	Fissura paracentralis	傍绒球裂
Fpa	Fronto parietal lobe	额顶叶
Fpc	Fissura praecentralis	前中裂
Fpl	Fissura posterolateralis	后外侧裂
Fpp	Fissura praepyramidalis	锥前裂
Frs	Fissura retrosplenialis	后带裂
Fsp	Fissura splenialis	带状裂
Fss	Fossa Sylvii	薛氏沟
Fssp	Fissura suprasplenialis	上带裂
Fssy	Fissura suprasylvia	上薛氏裂
FSy	Fissura Sylvii	薛氏裂
Hyp	Hypophysis cerebri	脑下垂体
Hyth	Hypothalamus	下丘脑
In	Insula Reili	脑岛
Inf	Infundibulum	漏斗
La	Lobulus anterior	前小叶

Lan	Lobulus ansiformis	套状小叶
Laq	Lamina quadrigemina	四叠体
Lc	Lobulus centralis	中央小叶
Li	Lingula	小脑舌
Lp	Lobulus paramedianus	附中小叶
Ls	Lobulus simplex	简单小叶
Lt	Lamina terminalis	终板
Me	Mesencephalon	中脑
Mo	Medulla oblongata	延脑
Msp	Medulla spinalis	脊髓
N	Nodulus	蚓小结
Na	Nucleus amygdalae	杏仁核
Nc	Nucleus caudatus	尾状核
Ndc	Nucleus dentatus cerebelli	齿状核
Oi	Oliva inferior	下橄榄体
Orl	Orbital lobe	视叶
Ocl	Occipital lobe	枕叶
Pa	Paraflocculus accessorius	副傍绒球
Pd	Paraflocculus dorsalis	背傍绒球
Pc	Pedunculus cerebri	大脑脚
Pf	Pedunculus flocculi	绒球脚
Po	Pons	桥脑
Pu	Putamen	豆状核
Pv	Paraflocculus ventralis	腹傍绒球
Py	Pyramis	蚓锥
Rif	Recessus infundibuli	漏斗窝
Sp	Septum pellucidum	透明隔
Spa	Sulcus paramedianus	副正中沟
Th	Thalamus	丘脑
Tl	Temporal lobe	颞叶
Tro	Tractus opticus	视束
Tu	Tuber vermis	蚓结节
Tuo	Tuberculum olfactorium	嗅结节
U	Uvula vermis	蚓垂
Ve	Vermis cerebelli	小脑蚓部
V3	Ventriculus tertius	第三脑室
V4	Ventriculus quartus	第四脑室
Vl	Ventriculus lateralis	侧脑室
2	Nervus opticus	视神经

3	Nervus oculomotorius	动眼神经
5	Nervus trigeminus	三叉神经
6	Nervus abducens	外展神经
7	Nervus facialis	面神经
8	Nervus acusticus	听神经
9	Nervus glossopharyngicus	舌咽神经
10	Nervus vagus	迷走神经
11	Nervus accessorius	副神经
12	Nervus hypoglossus	舌下神经

3．听觉系统

对鲸类听觉系统的研究，学者们是带着极大兴趣来探讨其独特的声呐系统功能的，特别是对有关声信号接受关键部位做了许多深入工作。国内这方面还处于初始阶段，现已公诸于世的仅有冯文慧等(1985，1986，1989)的工作，她们较为出色地进行了白鳖豚和江豚的耳蜗基膜结构及前庭神经系统的定量组织学和立体学研究。采用了临摹翻造图形重建及计算机三维重建的方法(王今著，1986)作出内耳基膜图及耳蜗螺旋、螺旋神经节和前庭神经节重建图，较为真实地反映了白鳖豚和江豚内耳神经结构，并作出定量分析。

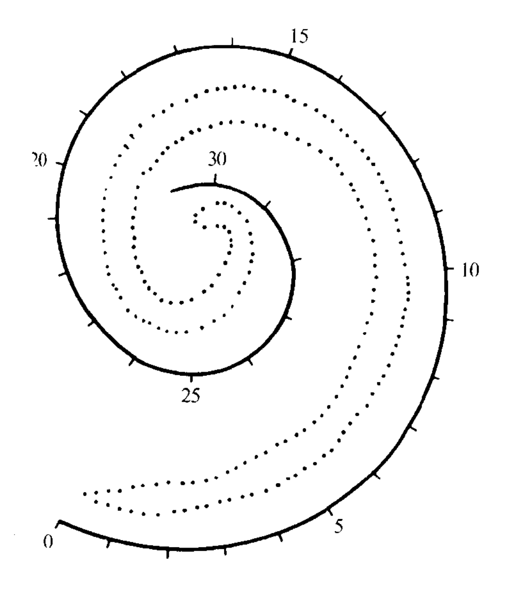


图 2-10　白鳖豚左侧耳蜗螺旋和螺旋神经节的临摹翻造重建图(10.2X)(引自冯文慧 1989)
Fig. 2-10　Reconstructed diagram of left cochlea spiral and the spiral ganglion of *Lipotes vexillifer*

前人的研究表明，哺乳动物听觉系统主要是由耳蜗基膜来完成频率分析功能的，基膜的作用像一组机械性的低通滤波器，高频声波在基膜的基部产生最大的波幅；低频声波在基膜顶部产生最大波幅，而振动的波幅最大的地方即被认为是在基膜上代表该声波频率的位置(Neuweiler，1980)。所以耳蜗基膜是接受声信号的一个较为关键的部位。冯文慧等作出的白鳖豚耳蜗基膜图，显示出耳蜗基膜的长度为一圈半(图 2-10)。从重建图形上测量为 30.7mm。图像说明白鳖豚的螺旋神经节是连续的索状结构，它们的直径较为均匀，为 0.55±0.1mm，仅在近基端处较细，为 0.35±0.1mm，其总体积为3.71cm^3。螺旋神经节的细胞总数右耳为 63 138 个，左耳为 62 022 个，平均为62 580个。

据冯文慧等(1989)的研究，认为白鳖豚螺旋神经节细胞总数为人的 2 倍，但仅为宽吻海豚的 2/3，比江豚少 10%，而前庭神经节还不及人的 1/6，但与江豚较为接近。同其他哺乳动物比较，前庭神经节细胞数明显低于无回声定位功能的哺乳动物。从螺旋神经节细胞总数与前庭神经节细胞总数的比率来看，在豚和蝙蝠中相对较高(表 2-12)。研究结果表明，具有回声定位功能的动物，其听觉系统高度发育，而其前庭系统却退化了(马凌汉等，1963；廖承义，1978)，这一特点可能是具有回声定位功能的动物所共有的特征。

表 2-12 几种动物螺旋神经节和前庭神经节细胞比较(引自冯文慧等 1986,1989)

Table 2-12 Comparison of the spiral and vestibular ganglia of 6 kinds of animals

动物名	螺旋神经节细胞总数	基膜长度	细胞密度	前庭神经节细胞总数	螺旋神经节细胞:前庭神经节细胞
人	30 500	31	984	19 000	3 : 2
猫	50 000	-	-	12 000	4 : 1
小棕蝠	55 300	-	-	4 500	11 : 1
白鳖豚	62 580	30.7	2 038	3 092	20 : 1
江豚	78 066	31	2 518	3 641	21 : 1
宽吻海豚	95 004	37	2 567	-	-

在豚类中,白鳖豚与江豚和宽吻海豚相比较,白鳖豚的耳蜗基膜的长度比江豚和宽吻海豚要短些,螺旋神经节细胞平均密度也比其他两种豚都要低些,看来白鳖豚的听觉功能发达程度不及江豚和海豚。

4. 视觉系统

鲸类视觉系统的研究与其他器官系统相比,可以说是做得较少的。至于淡水豚类仅有 Pilleri(1972)研究了拉河豚和亚河豚的视网膜。国内有吴奇久、李俊凤等(1982,1984)对白鳖豚的视网膜和视神经进行了定量研究,他们对白鳖豚的视觉通道的组织结构作了详细的观察,并对白鳖豚视觉功能不发达的程度作出了科学的论证。

(1) 视神经　白鳖豚的视神经是脑神经中较细的一对,其直径一般为 2—2.5mm。从横切面来看近于圆形,由神经膜、神经纤维和结缔组织所组成。神经膜包在神经纤维束外,而神经纤维由结缔组织将它们分成许多不规则的小叶,小叶内充满形状不规则、粗细不均匀的神经纤维。每根神经纤维都有层状结构的髓鞘包着,髓鞘厚薄差别非常悬殊。白鳖豚视神经中只见到一种胶质细胞,而且数量也很少,这种胶质细胞核呈不规则的长条状,胞浆密度较低,微丝也较少,它是一种属于星状胶质细胞的类型。

吴奇久等(1982,1984)利用 2 头白鳖豚的 2 对视神经作材料,计算出白鳖豚的视神经纤维总数,平均为 78 900 根。在作出的视神经纤维直径谱上显示出来的都是单峰,纤维直径大小相差也显著,其范围可以 0.35—7.45μm,其中又以 1.0—2.0μm 的占 50%—60%。他们还比较了视神经中央区和周围区神经纤维的密度和直径分布,得出的结果表明白鳖豚视神经中央区和周围区的神经纤维密度和直径大小没有显著差异。

从视神经纤维轴突直径(d)(不包括髓鞘)和整个纤维直径(D)的比值,可以看出脉冲在纤维中的传导速度。吴奇久等用统计学方法计算出白鳖豚的 d/D 比值为 0.60 ± 0.02 ($P<0.05$),此比值仅接近于鱼类,也可以说白鳖豚的视神经发达程度与鱼类差不多。

根据学者们对动物视神经的研究表明,动物越高等其神经纤维越多,视神经纤维直径范围与峰值越小,d/D 比值最佳值应是 0.71。吴奇久等将白鳖豚与生活在同一水域中的江豚视神经作了比较(表 2-13),认为虽然两者视神经结构上是较为相似的,但在神经数量上有较大差别。江豚视神经纤维数为白鳖豚的 3.04 倍,视神经面积为 3.28 倍。而白鳖豚神经纤维直径范围却比江豚大,峰直径为江豚的 2 倍,视神经纤维直径谱为单峰,江豚则为双峰。江豚视神经纤维 d/D 比值为 0.70(中央区)—0.72(周围区),接近最佳值

0.71，而白鳖豚的为0.60，却低于这一数值。以上数字均说明白鳖豚的视神经发达程度低于江豚。

表 2-13　白鳖豚和江豚视神经的比较(引自吴奇久等,1982,1984)

Table 2-13　Comparison of the optic nerves of *Lipotes* and *Neophocaena*

项目 Item		白鳖豚 *Lipotes*	江豚 *Neophocaena*
视神经纤维总数 Total of the fibers of optic nerves		78 900	239 900
视神经面积 mm^2 Optic nerves area		0.75	2.46
纤维轴突直径(d)/纤维直径(D) Ratio of axon diameter(d)/ Fibber diameter(D)		0.6±0.02	0.70±0.01 中央区 0.72±0.01 周围区
视神经纤维直径谱 The fibber diameter spectra of optic nerves	峰数 Number of modal	Single	Double
	范围(μm) Ranges	0.35－0.745	0.27－6.49
	峰直径(μm) Modal diameter	1.5	0.8

(2) 视网膜　　李俊凤等(1984)对白鳖豚的视网膜作了组织结构观察和数量测量分析的结果，认为白鳖豚的视网膜和其他脊椎动物一样共分为10层，从外向内为色素上皮层、视杆视锥层、外界膜、外核层、外网织层、内核层、内网织层、神经结细胞层、视神经纤维层、内界膜。视网膜总厚度为268μm，各层厚度见表2-14。

表 2-14　白鳖豚视网膜分层及各层厚度(引自李俊凤等,1984)

Table 2-14　The thickness of each layer of rentina in *Lipotes vexillifer*

分层	Ⅰ 色素上皮层	Ⅱ 神杆视锥层	Ⅲ 外界膜	Ⅳ 外核层	Ⅴ 外网织层	Ⅵ 内核层	Ⅶ 内网织层	Ⅷ 神经节细胞层	Ⅸ 视神经纤维层	Ⅹ 内界膜
各层厚度(μm)	12	40	2	48	20	36	68	32	8	2

白鳖豚视网膜上有大量呈放射状排列的血管，从视乳头一直延伸到周边，视网膜中央没有看到中央凹和无血管区。视网膜各层组织结构都有其特征，色素上皮层由1层细胞组成，圆形细胞核含有大量染色质，细胞质中有许多黄色颗粒。外核层细胞中有较为密集的细胞核，可分为两类：一为锥形细胞核，多靠近外界膜，特点为体积大数量较少，呈椭圆形，核中有少量分散的染色质；二为锥形细胞核，特点为体积小，呈圆形，核中染色质多。这两类细胞在外核层中排列约10层，整个厚度几乎为内核层的10倍。内核层中细胞的细胞核数量较外核中为少，形状就不规则，并含有大量染色质颗粒。内网织层是视网膜10层中最厚的一层，纤维不太清晰，含有少量胶质细胞和许多移位的神经节细胞。神经节细胞层仅有一层，但其位置有些较深有些较浅，该层有明显不同大小的两类细胞，它们在视网膜各区的分布基本是一致的，在白鳖豚视网膜上没有见到视神经节细胞密度很高的中央区和视条纹。

李俊凤等还从视网膜切片上，观察计数单位长度切片上的外核层细胞和神经节细胞的数量，二者比值为8.3—15/1，平均比值为12/1，这个比值是比较大的。

从以上资料看来，白鳖豚视网膜组织结构中，它们的外核层厚几乎为内核层的2倍；外核层细胞数与神经节细胞数的比值为12/1，是较大的。这些特点和夜视动物的相近，

因此可以说白鳘豚视网膜应归属于夜视动物视网膜类型。

从白鳘豚视网膜组织结构和定量分析中表明，它们的视网膜上没有视神经节细胞密度高的中央区和视条纹，神经节大小细胞在视网膜各区分布基本上是一致的，视网膜上血管从乳头一直伸到周边，这些特点均显示白鳘豚视觉功能是极不发达的。

七、内分泌系统：肾上腺及甲状腺

1. 肾上腺

鲸类肾上腺的研究在本世纪 50 年代才有学者开始进行研究，大多是对一些海豚种类作些形态描述(Arvy, 1971; Harrison, 1969; Howard, 1983; Slijper, 1962)。后由原苏联学者 Агарков 等(1979)对里海的几种海豚种类作了较详细的形态学和生理学研究，并建立了鼠海豚肾上腺实验模型，深入研究了肾上腺的神经支配、血管分布和淋巴管分布。至于淡水豚类，自 Arvy(1971)报道 3 头亚河豚肾上腺重量后，直到 1988 年才有李钟杰对白鳘豚肾上腺作了较为深入的工作。他取 6 头白鳘豚的肾上腺标本(其中包括有性未成熟的、性成熟的、授乳的)进行形态学研究，分析了白鳘豚肾上腺形态学变化与生态环境和生理状态的相互关系。根据他的工作描述如下：

(1) 白鳘豚肾上腺位置及外部特征　　左右肾上腺位于肾脏的前端，相距约 0.8—2cm，左右肾上腺间有后腔大静脉和肠系膜将它们分隔开来。肾上腺体的形状不甚规则，右肾上腺略呈三角形，左肾上腺呈扁卵圆形，它们的腹面覆盖白色致密被膜，背面中部略为隆起，腺体表面凹凸不平，呈乳突状。一般说来，左肾上腺略大于右肾上腺，这与真海豚和条纹海豚恰相反。肾上腺重与体重的平均比值为 0.25g/kg，它小于鼠海豚，大于原海豚和真海豚(表 2-15)。

表 2-15　白鳘豚肾上腺的度量特征(引自李钟杰，1988)

Table 2-15　The metrical characters of adrenal gland of *Lipotes vexillifer*

编号 No.	性别 Sex	状态 State	体长(cm) Body length	体重(kg) Body weight	肾上腺长度(cm) Adrenal length	肾上腺重(g) Adrenal weight	肾上腺重(g)/体重(kg) Adrenal weight to body weight	死因 Cause of death
EF_1	♂	未成熟 Immature	137	28	ri 2.5×2×0.8 le 3×2.1×1.1	2.4 3.1	0.20	钩捕 Fishing
ET_1	♂	未成熟 Immature	166	40.75		19.5	0.48	养 9 个月 Captivity for nine months
EZ_2	♀	未成熟 Immature	184.5	63.5	ri 3.5×3.3×1.2 le 4.3×2.8×1.2	6.0 6.5	0.20	钩捕 Stake-net fishing
ET_2	♀	成熟 Mature	226.1	165	ri 3.9×2.6×0.8 le 5.1×3.5×1.1	5.1 10.7	0.10	插网 Hook fishing
3	♀	授乳 Lactation	231	141	ri 7×4.8×1.6 le 5.7×3.3×1.3	19.0 11.4	0.22	钩捕 Hook fishing
EZ_2	♀	授乳 Lactation	239	112.5	ri 4.5×3.0×0.9 le 8.7×4.5×0.8	10.0 21.0	0.28	钩捕 Hook fishing

(2) 组织学结构　白鳖豚肾上腺的组织结构与其他鲸类基本相同,也是由皮质和髓质组成,它们相互交迭,中间有纤维间隔,皮质与髓质体积比值为6.59。

皮质:肾上腺的被膜纤维组织垂直向皮质伸延,这样便将皮质分成许多假小叶(pseudolobules)。皮质是由球状带、束状带和网状带组成的,球状带紧靠被膜内侧,它随着腺体被膜纤维组织内伸而内卷,球状带接着束状带,网状带分布不甚均匀,束状带与网状带间界限也不很清楚,有时束状带直接毗邻髓质部。

球状带、束状带、网状带的组织结构:球状带的细胞由纤维组织包围成小团球状,一般为多边形或卵圆形,细胞间界限清楚,细胞较小,平均直径为8.47±0.47μm。细胞质颗粒细小,伊红染色较深,类脂滴微细。细胞核为圆形或卵圆形,平均直径为4.3±0.42μm。核染色质分布均匀,着色较深。

束状带的细胞呈现条索状或片状排列,呈多边形,平均直径为11.05±2.21μm。细胞核圆形或卵圆形,平均直径为5.11±1.24μm,核内有1—2个圆点状核仁。束状带细胞分为明细胞和暗细胞,明细胞数量多且较大,胞质和胞核泡状,有较丰富的类脂滴。暗细胞的胞核略缩,形状有点不规则,胞质和胞核染色较深,极少见到类脂滴。

网状带的细胞呈索状排列,连接成稀网状,索间隙有发达的窦状毛细管和疏松结缔组织。细胞呈梭形或半月形。胞质略嗜酸性,类脂滴小而少,胞核为长椭圆形或卵圆形,平均直径为4.79±0.88μm,核染色质细密,染色较深。

髓质:主要由嗜铬细胞组成,排列成团索状,团索间布满较发达的结缔纤维组织、血窦和血管,还有神经干和多突起神经细胞。嗜铬细胞呈卵圆形或多边形,平均直径为10.78±2.36μm。胞质颗粒较粗,略嗜碱性,细胞间界限不清。胞核圆形或卵圆形,平均直径为4.83±1.17μm,核染色质呈小块状分布。

白鳖豚肾上腺皮质体积(C)与髓质体积(M)比值(C/M)为6.59,这与在相同水域中生活的江豚相似,但大于中国沿海生活的江豚。

(3) 白鳖豚在正常生理状态下肾上腺的形态特征　肾上腺随着体长增长而增大,但与体重的相对比值变化不大,体长137—239cm的个体,肾上腺重为5.5—31g(表2-15)。随个体生理状态和生活的自然环境的变化,肾上腺的形态特征亦有所不同。当个体成熟前,身体快速生长,束状带和嗜铬细胞都较发达,功能活跃;而球状带和网状带仍处于增生形成阶段。当个体进入成熟期,身体生长逐渐缓慢,肾上腺球状带特别发达,而束状带、网状带和髓质内部都有大量纤维组织增生,表现出功能衰减。授乳的母豚,除要适应生活环境水温升高的生态条件变化外,还须承受授乳过程的代谢负担,肾上腺表现出腺体明显增大,球状带细胞类脂滴增多,核染色质呈点块状分布,显示分泌功能活跃(表2-16)。

(4) 白鳖豚病理状态下肾上腺的形态特征　一头人工饲养9个月的白鳖豚,患病死亡,经诊断为甲状腺功能亢进,其肾上腺明显增大,肾上腺重与体重比值为0.48g/kg。腺体实质细胞膨大。束状细胞和髓质细胞直径为13.2—14.8μm,高于正常平均值数倍,束状细胞约有20%为暗细胞,其细胞核固缩,形状极不规则,胞浆嗜酸性,为细胞功能衰退的象征。束状带细胞丧失调节功能,而明细胞和髓质嗜铬细胞呈液泡状,分泌活动强烈,以适应生理机能的要求。

表 2-16　不同生理阶段白鱀豚肾上腺的形态特征

Table 2-16　The morphological character of adrenal gland of *Lipotes vexillifer* in different physiological situation

	皮质	球状带	束状带	网状带	髓质
未成熟♂ Immature ♂	与髓质间的纤维组织较薄，细胞中均可见到类脂滴	较薄，细胞少，呈典型团状排列	发达，细胞紧密排列成片状	狭窄，腺细胞零散分布	嗜铬细胞排列成小团索状，细胞间血窦较大
未成熟♀ Immature ♀	假小叶发达	较厚，细胞呈团状排列	发达	较薄，且不连续	嗜铬细胞呈索状排列
成熟♀ Mature ♀	与髓质间的纤维组织较厚	高度发达	有退化现象，局部束状带充斥组织纤维	有退化现象，细胞散布在成片的纤维组织中	
授乳♀ Lactation ♀		胞质中类脂滴多，核染色质呈点块状分布			

还有两头肾上腺病变的个体，一头豚的右肾中部有一囊肿，其外表为一长 13.5cm 的蚓状突起，它的里面的皮质和髓质间有一质软、色灰白、直径为 19.5cm 的囊肿。囊肿中是半透明胶状液和腐渣样组织，胶状液中有脱落的角化细胞。囊外为结缔组织所包，囊内壁为鳞状上皮。经诊断为先天性表皮样囊肿。另一头豚的右肾比左肾小一半，右肾是一个不正常的腺体，腺体外侧缘不平滑，被膜增厚。腺体内充满大量白血细胞，被膜下分布较多嗜酸性白细胞，团球状的球状带和束状带零散分布，没有看到髓质嗜铬细胞。这两头豚的左肾完全正常，没有明显的功能补偿现象，看来它们的单侧肾脏代偿能力较强。

(5) 肾上腺的功能　　从哺乳动物肾上腺的形态特征的变化，可作为一个衡量动物对生存环境适应状态的指标。一般来说，肾上腺增大，表明环境对动物的压力增大，从动物身体表现出它们的行为、生殖、抗病力等的减弱。可以从几个指数来看。

肾上腺重与体重平均比值，白鱀豚的为 0.25g/kg，它的比值与生活在海洋中的海豚相比，小于鼠海豚而大于原海豚和真海豚。肾上腺的球状带发达程度，白鱀豚的比生活在同一环境的江豚要发达得多，而生活在长江中游的江豚比生活在中国沿海的江豚要发达一些。当然，不同种类的豚有各自的遗传因素，但生活在长江同一生态环境的白鱀豚和江豚间的差异，还有一些外在因素，即江豚喜在近岸区较浅水域中活动，而白鱀豚多在干流较深的急流中迁移游动，为此要求其机体有较强的调节能力。肾上腺与甲状腺的比值(A/T)可以作为一个指标，Slijper 认为这个比值能够反映动物的运动能力，Harrison 的工作表明豚类 A/T 比值只有个别种类大于 1。根据李钟杰的测定，白鱀豚的 A/T 比值为 1.04，但白鱀豚的游泳能力为 2.7—9.7km/h(陈佩薰，1985)，它比海洋中生活的鲸类要小得多。白鱀豚有较大的 A/T 比值，说明它们在长江中生活受到很大压力。肾上腺皮质与髓质体积的比值(C/M)也是一个指标，白鱀豚的 C/M 比值为 6.59，这与生活在长江中的江豚相似，但大于生活在沿海的江豚。根据 Арарков 等的工作，认为肾上腺皮质与髓质的功能有密切相关，肾上腺素和皮质类固醇激素必须通过髓质的静脉进入肝门静脉系统，以适应环境压力。白鱀豚肾上腺皮质较大，这可能与其自身代谢变化大，或者环境压力大有关。

关于白鱀豚肾上腺的研究,特别是形态功能的研究,还需继续进行深入的工作。

2. 甲状腺及甲状旁腺

鲸类甲状腺研究,早在100多年前Turner(1860)就对恒河豚、鼠海豚和宽吻海豚的甲状腺进行了解剖,并作了形态特征的描述。从本世纪50年代以来,学者们对这方面的工作逐渐多起来了,最初仍是对一些海豚,如原海豚、真海豚、斑纹海豚和虎鲸甲状腺的形态描述,以后随着工作的深入,也有对这些海豚甲状腺的细胞组织学的论文发表(Arvy, 1971; Gardner *et al.*, 1972; Harrison, 1969; Patton *et al.*, 1971)。Harrision和Young在前人工作基础上,使用电子显微镜技术,观察了真海豚和镰鳍斑纹海豚甲状腺的超微结构,将甲状腺形态研究提高到一个新水平。随着人工养殖海豚工作的进展,鲸类甲状腺的特殊生理适应性已引起学者们的关注。由Harrison率先,随着Patton和Ridgway(1971)、Howard (1983)等对海豚甲状腺素的正常生理学和病理学开展了研究,促进了海豚养殖工作。至于淡水豚类甲状腺研究方面,开展的工作不多,到目前为止,仅有李钟杰(1985)对白鱀豚的甲状腺做了初步探讨。他除了描述了白鱀豚甲状的形态特征外,还比较了白鱀豚与海洋中海豚甲状腺织结构上的差异,并分析了白鱀豚甲状腺形态变化与生理状态的关系。下面根据他的研究进行描述。

(1) 白鱀豚甲状腺及甲状旁腺的位置及外部特征　　甲状腺紧贴在气管腹面,延伸到喉头处分为左右两叶。腺体前端尖细,后端较圆钝,两叶后部有一细窄峡部相连,使腺体呈"V"形。但亦有极少数个体没有峡部,两叶完全分开。一般来说,左叶略大于右叶,腺体呈绛红色。外包有被膜,被膜内层结缔组织伸入腺体实质组织中,将它们分隔成大小不规则的小叶。白鱀豚甲状腺重5—29g,与体重平均比值为0.22g/kg(0.15—0.54g/kg)

表2-17　白鱀豚甲状腺的量度(引自李钟杰,1985)

Table 2-17　The metrical character of thyroid gland of *Lipotes vexillifer*

编号 No.	性别 Sex	状态 State	体长 (cm) Body length	体重 (kg) Body weight	甲状腺长度 (cm) Thyroid length	甲状腺重 (g) Thyroid weight	甲状腺(g)/体重(kg) Thyroid to body weight	死因 Death
EN－1	♂	未成熟 Immature	166.0	40.8	左 le 6.8×2.4×1.1 右 ri 6.7×3.1×1.6	22.0	0.540	养9个月 Kept for nine months
SN－1	♂	成熟 Mature	181.0	80.0		18.0	0.225	搁浅 Stranding
EZ－1	♂	成熟 Mature	183.0	87.5	左 le 4.7×2.8×1.3 右 ri 3.9×2.2×1.2	10.0, 5.05 Left right	0.172	钩捕 Hook fishing
EH－1	♀	成熟 Mature	226.0	165.0	左 le 6.5×2.3×1.3 右 ri 6.5×3.3×1.5	25.5	0.155	插网 Stake net fishing
EH－2	♀	哺乳 Lactation	231.0	141.0	左 le 7.3×2.3×1.4 右 ri 6.6×2.3×1.5	29.0	0.206	钩捕 Hook fishing
ET－1	♀	怀孕 Pregnant	232.0	152.9	左 le 6.4×2.4×1.7 右 ri 6.4×2.4×1.2	14.9, 7.9 Left right	0.149	船桨击毙 Killed by propeller
EZ－8	♀	哺乳 Lactation	239.0	112.5	左 le 7.3×3.5×1.2 右 ri 5.8×2.7×0.9	9.5, 7.3 Left right	0.149	搁浅 Stranding
ET－2	♀	哺乳 Lactation	244.0	163.5	左 le 5.1×2.5×1.3 右 ri 5.7×3.0×1.5	26.8	0.164	搁浅 Stranding

(表 2-17)。

甲状旁腺位于右侧甲状腺前1/3处的外侧边缘,有结缔组织将它与甲状腺连接。但在解剖的8头标本中,有1头的甲状旁腺是在左侧甲状腺的前部,靠近颈静脉束处。由于解剖的数目不多,故对其确切数目及分布还需作进一步的工作。甲状旁腺大小和形状似绿豆或小钮扣状。

(2) 组织学结构　白鳖豚甲状腺由外被膜分隔成不规则的小叶,每个小叶有1—12个或者更多的滤泡,滤泡为圆形或椭圆形,平均直径为106.4±18.7μm,最大直径达6.4mm。滤泡胶质嗜酸性,立方上皮细胞平均高为9.4±1.7μm,最大直径为14.8μm。上皮细胞游离端有很多大小不一的小液泡,上皮细胞核位于细胞的中部或偏近滤泡基膜,细胞核呈圆形或椭圆形,平均直径为4.1±0.5μm,核质呈小块状分布,常见1—4个核仁靠近核膜。滤泡旁细胞零散分布在滤泡间或夹在上皮细胞间,偶尔也有三五成群。滤泡旁细胞为圆形或椭圆形,比较大,平均直径为11.0±1.5μm,细胞质微颗粒状,细胞核周围有时可见小液泡,形成一亮圈,细胞核亦呈圆形或椭圆形,平均直径为6.0±0.8μm。

甲状旁腺外包一层不易分离的被膜,由结缔组织将腺实质组织分隔成团索状,细胞为圆形、卵圆形或多边形,直径约为9.7μm,细胞核为圆形,直径约为4.4μm,细胞核一般位于细胞中央。主细胞明亮,细胞质网泡状,有许多小液泡,核染色质松散,嗜酸性细胞内有大小均一、液泡状的嗜酸性颗粒。

(3) 正常生理状态下甲状腺形态特征　白鳖豚甲状腺的生长随着年龄增加而有所变化。性成熟的雌雄个体,甲状腺分泌功能较强,甲状腺体中间纤维组织相应增多,有的个体甚至将甲状旁腺分隔开来,嗜酸性细胞多达占腺细胞总数20%,滤泡大小均匀,无巨型滤泡。

表 2-18　白鳖豚不同生理状态下甲状腺的形态特征

Table 2-18　The morphological character of thyroid gland of *Lipotes vexillifer* in different physiological situations

性别	生理状态	甲状腺体状态	滤泡	上皮细胞
♂	未成熟,豢养9个月后死亡,甲状腺功能亢进	甲状腺体大,腺重/体重=0.54,其背面有许多米粒大小的疣状突起,腺间纤维组织少	滤泡小,呈星形,平均直径59.7μm,胶质稀薄,呈网泡状,放射状分布	单层高4.8μm,常见2层或多层,甚至堆积成乳突状
♂	成熟	甲状腺活动较强,腺体内纤维组织较多	滤泡大小均匀、无巨滤泡,胶质染色较淡	
♀	成熟	有厚的结缔组织纤维将甲状腺分隔开,腺纤维组织增生	嗜酸细胞较多,占20%	
♀	产后不久哺乳期	腺纤维组织增生,腺间结缔组织夹脂肪细胞,腺细胞密集成团索状	滤泡较小,形状不规则,甲状腺前半部有充满浓稠胶质的巨型滤泡,最大直径达6.4mm	上皮细胞挤入滤泡内,甚至充满整个滤泡
♀	哺乳期右肾上腺患先天性皮样囊肿	甲状腺体左叶活动较强,腺细胞呈团状,右叶活动较弱,腺细胞和纤维组织大量增生	甲状腺左叶滤泡小,右叶滤泡较大,胶质稠粘,有大滤泡叠套小滤泡现象,少量大滤泡最大直径达3.7mm	左叶上皮细胞较高,右叶有的上皮细胞挤入,充满滤泡

产后不久的哺乳个体，甲状腺纤维组织增生，腺间结缔组织中夹有脂肪细胞，腺细胞密集成团索状，滤泡小，形状不规则，甲状腺前半部有充满浓稠胶质的巨型滤泡，最大的直径达6.4mm。

(4) 病理状态下甲状腺形态特征　一头哺乳雌体，右肾上腺患先天性表皮样囊肿，这头豚的甲状腺表现出异样，甲状腺右叶，有少量大滤泡，直径达3.7mm。并有大滤泡中套叠小滤泡现象，甚至有的上皮细胞伸入滤泡，这可能是由于腺细胞过度增生所造成。右叶滤泡大，胶质稠粘，分泌活动较弱。左叶腺细胞呈团状，滤泡小，滤泡上皮高，分泌活动较强(表2-18)。

(5) 甲状腺的功能　甲状腺分泌活动状况是与动物身体代谢活动有着密切关系，甲状腺的生长，随着年龄的增长而发展，具体表现在甲状腺的腺间纤维组织相应增生。根据Harrision(1969)对宽吻海豚、真海豚的研究，看到它们的临产胎儿和新生儿的甲状腺就有较厚的腺间纤维组织。但我们认为白鱀豚可能比生活在海洋中的小型鲸类的新陈代谢幅度更大，要求甲状腺分泌激素量会更高。

根据Harrision(1969)对豢养海豚死亡的研究，他提出甲状腺功能亢进引起功能衰竭的现象甚多，主要原因有二：一是食物中缺少碘；二是人为环境干扰造成豚的精神压抑，他认为后者是主要的，因为加强食物中碘的补充后，仍不能改变病症。为此，在我们人工饲养白鱀豚的过程中，由于无法保证长江自然条件下夏季和冬季的水温，一般来说，炎夏人工饲养池水温要比长江水温高3—4°C，而冬季则要低2—3°C，这样的水温差，要求饲养白鱀豚自身的新陈代谢中能量转化发生较大变化，以适应环境，因此甲状腺的功能调节是较为重要的内分泌因素。

参 考 文 献

马凌汉、鲁子惠，1963，江豚(*Neomeris phocaenoides*)脑外形观察，解剖学报，6(1)：1—8。
王克雄、刘仁俊，江豚和白鱀豚雄性生殖系统的解剖学研究，1996。
王今著、梁长林、王秀春、冯文慧，1986，江豚耳蜗切片的计算机三维重建，生物物理学报，2：238—242。
冯文慧、梁长林，1986，白鱀豚和中国江豚的听觉系统－耳蜗基膜的研究，科学通报，11：862—864。
冯文慧、梁长林、刘利军，1985，中国江豚的前庭神经节定量研究，科学通报，24：1900—1902。
刘仁俊，1989，白鱀豚生殖规律的研究，国际野生动物保护学术会议论文集，310—312。
刘仁俊、林克杰，1980，白鱀豚气管和肺的解剖和组织学的研究，水生生物学集刊，7(2)：142—148。
刘仁俊、王丁、王小强、龚伟明，1986，白鱀豚的肾脏，水生生物学报，10(4)：331—339。
陈佩薰、刘仁俊、林克杰，1982，白鱀豚的生殖和生殖系统，海洋与湖沼，13(4)：331—337。
陈佩薰、林克杰、刘仁俊，1980，白鱀豚上呼吸道的解剖和组织学研究，水生生物学集刊，7(2)：131—137。
陈佩薰、林克杰、华元渝，1985，白鱀豚生物学特征的初步研究，水生生物学报，9(1)：171—175。
陈宜瑜，1979，白鱀豚脑的解剖，水生生物学集刊，6(4)：365—372。
陈宜瑜、陈炜，1975，关于白鱀豚的一些形态解剖资料，水生生物学集刊，5(3)：360—370。
吴奇久、李俊凤，1984，江豚视神经和白鱀豚视神经的比较研究，动物学报，30(4)：331—336。
吴奇久、李俊凤、肖悦梅，1982，白鱀豚视觉通道的组织学研究－视神经结构、纤维计数和纤维直径谱，中国科学(B辑)，11：1001—1006。
李悦民，1983，白鱀豚的舌，动物学报，29(1)：35—41。
李俊凤、吴奇久、肖悦梅，1984，白鱀豚视学通道的组织学研究－视网膜，中国科学(B辑)，2：132—136。
李钟杰，1985，白鱀豚甲状腺及甲状旁腺的初步研究，水生生物学报，9(2)：171—175。
李钟杰，1988，白鱀豚肾上腺的研究，水生生物学报，12(1)：59—64。
周开亚、李悦民，1981，白鱀豚的肠，动物学报，27(3)：248—253。
周开亚、李悦民、钱伟娟，1979，白鱀豚的胃，动物学报，25(2)：95—100。
周开亚、钱伟娟、李悦民，1979，白鱀豚的骨骼和分类位置，动物学报，25(1)：58—73。
姚闻卿，胡菊英，1974，安徽捕获的白鳍豚，淡水渔业，(7)：16—17。
廖承义，1978，江豚 *Neophocaena phocaenoides* 鼻道解剖的初步观察，山东海洋学院院报，(1)：1—8。

Anderson, J., 1878, Anatomical and zoological researches: comparing an account of the zoological results of the two cetacean genera, Platanista and Orcella (B. Quaritch, London).

Arvy, L., 1971, Endocrine glands and section in Cetaceans. In: Investigations on Cetacea, Ed: G. Pilleri, Berne, 3(2): 252—257.

Arvy, L. u, 1973, Notes on the mammary glands of male Cetaceans, In: Investigations on Cetacea, 5: 219—224.

Arvy, L. u, 1973, Mammary glands, Milk and lactation in Cetaceans, In: Investigations on Cetacea, 5: 157—202.

Arvy, L. u, 1974, The kidney, renal parasites and renal secretion in cetaceans, In: Investigations on Cetacea, 5: 231—310.

Arvy, L., 1976, Some critical remarks on the subject of the cetacean "girdles", In: Investigations on Cetacea, 7: 179—186.

Arvy, L., and G. Hiden, 1974, Internal moulding using a technique for comparative morphological studies of the renicular calyces in cetaceans, In: Investigations on Cetacea, 5: 311—316.

Bourne, G., 1949, The mammalian adrenal gland, Oxford University Press, 117—118.

Breathnach, A. S., 1960, The cetacean central nervous system, Biol., 35(2): 187—230.

Brownell, R. Jr. and E. S. Herald, 1972, *Lipotes vexillifer*. Mamm. sp., 10: 1—4.

Bree, P. J. van and P. E. Purves, 1975, On the dimensions of three skulls of the species of dolphin *Lipotes vexillifer* Miller, 1918(Cetacea, Platanistoidea, Iniidae). Beaufortia, 24(308): 1—5.

Bourne, G., 1949, The mammalian adrenal gland Oxford University Press, 117—118.

Cave, A. J. E., 1965, Further observations on the cetacean reniculus. J. Roy. Micros. Soc., 84: 539—548.

Cave, A. J. E., 1974, Observations on the renal morphology of the Indus river dolphin (*Platanista indi*), In: Investigations on Cetacea, 5: 71—82.

Cave, A. J. E., 1977, The reniculus in Hyperoodon and Orcinus, In: Investigations on Cetacea, 8: 103—120.

Cave, A. J. E., and Aumonier, F. J., 1962, Morphology of the cetacean reniculus, Nature, 193: 799—800.

Cave, A. J. E., and Aumonier, F. J., 1961, The visceral histology of the primitive cetacean Caperea (Neobalaera), J. Roy. Micros. Soc., 80: 25—33.

Cave, A. J. E., and Aumonier, F. J., 1964, The reniculus in certain balaenopterids, J. Roy. Micros. Soc., 83: 255—264.

Cave, A. J. E., and Aumonier, F. J., 1967, The reniculus in *Tursiops truncatus*, *Stenella longirostris* and other cetaceans, J. Roy. Micros. Soc., 86: 323—342.

Cave, A. J. E., and Aumonier, F. J., 1967, The reniculus of the sea whale (*Balaenoptera borealis*), J. Nat. Hist., 4: 575—583.

Chen Peixun, Liu Renjun and Harrison R. J., 1982, Reproduction and reproductive organ in *Neophocaena asiaeorientalis* from the Yangtse River, Aquatic Mammals, 9(1): 9—16.

Chen Peixun, Liu Renjun and Lin Kejie, 1984. Reproduction and reproductive system in the Baiji, *Lipotes vexillifer*. Rep. Int. Whal. Comm. (special issue), 6: 445—450.

Fanning, J. C. and R. J. Harrison, 1974, The structure of the trachea and lungs of the south Australian bottlenosed dolphin, Functional Anatomy of Mammals, 2: 231—252.

Feng Wenhui, Liang Changlin, Wang Jingzhu, Wang Xiuchun and Chen Peixun, 1989, Morphometric and stereoscopic studies of the spiral and vestibular ganglia of the Baiji, Occasional papers of the IUCN Species Survival Commission (SSC), 3: 119—123.

Flower, W. H., 1869, Description of the skeleton of *Inia geoffrensis* and the skull of *Pontoporia blainvillei*, with remarks on the systematic position of these animals in the order Cetacea, Trans. Zool. Soc. London, 6: 87—116.

Fraser, F. C. and P. E. Purves, 1960, Hearing in cetaceans, evolution of the accessory air sacs and the structure and function of the outer and middle ear in recent cetaceans, Bull. Brit. Mus. Nat. Hist., 7(1): 1—140.

Gardner, M. B. and Simpsin, J. G., 1972, Thyroid and adrenal gland, In: Mammals of the Sea. Ed: S. H. Ridgway, Charles Thomas, Springfied, 3: 386—388.

Gihr, M. and C. Kraus, 1970, Quantitative investigations on the cetacean kidney, In: Investigations on Cetacea, 2: 168—176.

Gruenberger, H. B., 1970, On the cerebral anatomy of the Amazon dolphin Inia geoffrensis, In: Investigations on Cetacea, 2: 129—144.

Harrision, R. J., 1969, Endocrine organs: hypophysis, thyroid and adrenal, In: The biology of marine mammals. Ed: H. T. Andersen, New York Academic Press, 356—372.

Harrision, R. J., 1969. Reproduction and reproductive organ, In: The biology of marine mammals, Ed: H. T. Anderson, Academic Press, London.

Harrision, R. J., 1972, Reproduction and reproductive organs in *Platanista indi* and *Platanista gangetica*, In: Investigations on Cetacea, 4: 71—82.

Harrision, R. J., Boice R. C. and Brownell R. L., 1969, Reproduction in wild and captive dolphins, Nature, 222(5199): 1143—1146.

Harrision, R. J., and Ridgway S. H., 1971, Gonadal activity in some bottlenose dolphins (Tursiops truncatus), J. Zool. London, 165: 355—365.

Harrision, R. J., and Brownell R. L., 1971, The gonads of the South American dolphins, *Inia geoffrensis*, *Pontoporia blainvillei* and *Sotalia fluviatilis*, J. Mammal., 52: 413—419.

Harrison, R. J., Brownell R. L. and Boice R. C., 1972, Reproduction and gonadal appearances in some Odontocetes, In: Functional anatomy of marine mammals, Ed: R. J. Harrison, Academic Press, London and New York, 1: 361—429.

Harrison, R. J., and Young B. A., 1970, The thyroid gland of the common (Pacific) dolphin, *Delphinus delphis* bairdi, J. Anat., 106(2): 243—254.

Harrison, R. J. and Young, B. A., 1977, The ultrastructure of the thyroid and pars distalis of the dolphin, Aquatic Mammals, 5(1): 1—7.

Harrison, R. J. and Fanning J. C., 1973—1974, Anatomical observations on the South Australian bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*), In: Investigations on Cetacea, 5:202—217.

Harrison, R. J. and McBrearth D. A., 1973. Reproduction and gonads of the black finless porpoise, *Neophocaena phocanoides*, In: Investigations on Cetacea, 5:225—230.

Harrision, R. J. Bryden M. M., McBrearty D. A. and Brownell, R. L. Jr., 1981, The ovaries and reproduction in *Pontoporia blainvillei* (Cetacea: platanistidea). J. Zool., London, 193: 563—580.

Hinton, M. A. C. and Pycraft, W. P., 1922, Preliminary note on the affinities of the genus *Lipotes*, Ann. Mag. Nat. Hist., 9(10): 232—234.

Hinton, M. A. C., 1936, Some interesting points in the anatomy of the freshwater dolphin *Lipotes* and its allies, Proc. Linn. Soc. London, 148(3): 83—185.

Howard, E. B. 1983, Endocrine system, In: Pathobiology of marine mammal diseases, CRC Press Inc., 2: 196.

Huber, E., 1934, Anatomical notes on Pinnipedia and Cetacea, Carneg. Inst. Wash. Pub., No. 447.

Huggett, A. St. G. and W. F. Widdas, 1951, The relationship between mammalian fetal weight and conception age, J. Physiol., 114(3): 306—317.

Kamiya, T. and Pirlot P., 1980, Brain organization in *Platanista gangetica*, Sci. Rep. Whales Res. Inst., 32: 105—126.

Kamiya, T. and Fusao Yamaski, 1974, Organ weights of *Pontoporia blainvillei* and *Platanista gangetica* (Platanistidae), Sci. Rep. Inst., 26: 265—270.

Kasuya, T., 1973, Systematic consideration of recent toothed whales based on the morphology of typanoperiotic bone, Sci. Rep. Whales Res. Inst., 25: 1—103.

Kasuya, T. and Brownell R. L. Jr., 1979, Age determination, reproduction and growth of the Franciscana dolphin, *Pontoporia blainvillei*, Sci. Rep. Whales Res. Inst., 31: 45—67.

Kruger, L., 1966, Specialized features of the cetacean brain, In: Whales, dolphins and porpoises, Ed: K. S. Norris, Univ. California Press, 232—254.

Leonard, F. B., 1940, A study of the histological structure of the respiratory portion of the lungs of aquatic mammals, The American Journal of Anatomy, 67: 437—469.

Lawrence, B. and Schevill W. E., 1956, The functional anatomy of the delphinid nose, Bull. Mus. Comp. Zool. Harv., 114(4): 101—151.

Mead, J. G., 1972, Anatomy of the external nasal passages and facial complex in the delphinidae (Mammalia: Cetacea), 1—208.

Mead, J. G., 1975, Anatomy of the external nasal passages and facial complex in the delphinidae (Mammalia: Cetacea), Smithson. Contr. Zool., 207: 1—72.

Miller, G. S. Jr. 1918, A new river dolphin from China, Smiths, Misc. Coll., 68(9): 1—2.

Morgane, P. J., M. S. Jacobs and W. L. McMarland, 1980, The anatomy of the brain of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*), Brain Res. Bull., 5, Suppl. 3.

Neuweiler, G., 1980, Auditory processing of echoes: Peripheral processing. In: Animal sonar system, Ed: Busnel, R. G. and Fish, J. F. Plenum Press, N. Y. and London, 519—548.

Patton, G. S. and Ridgway S. H., 1971, Dolphin thyroid: some anatomical and physiological finding, Z. Vergl. Physiologie, 71: 129—141.

Perrin, W. F., Brownell R. L. and DeMaster D. P. (Ed.), 1984, Reproduction in Whales, Dolphins and Porpoises, Reports of the International Whaling Commission, Special Issue 6, Cambridge University Press, 445—450.

Ping, C., 1926, Some parts of visceral anatomy of porpoise *Neomeris phocaenoides*, Anat. Rec., 33(1): 13—28.

Pilleri, G., 1972, The cerebral anatomy of the Platanistidae (*Platanista gangetica*, *Platanista indi*, *Pontoporia blainvillei*, *Inia geoffrensis*), In: Investigations on cetacea, 4: 44—70.

Pilleri, G., and Testi F., 1972, Localized chronic Glomerulo nephritis in an Amazon dolphin *Inia geoffrensis*, In: Investigations on Cetacea, 4:100—103.

Pilleri, G., and Gihr, M., 1972, Contribution to the knowledge of cetaceans of Pakistan with particular reference to the genera Neomeris, Sousa, Delphinus and Tursiops and description of a new Chinese porpoise (*Neomeris asiaeorientalis*),

In: Investigations on Cetacea, 4: 107—157.
Pilleri, G., and Gihr, M., 1976, The function and osteology of the manus of *Platanista gangetica* and Platanistaindi, In: Investigations on Cetacea, 7: 109—118.
Pilleri, G., and Gihr, M., 1976, On the manus of the La Plata Dolphin, *Pontoporia blainvillei*, In: Investigations on Cetacea, 7: 119—128.
Piller, G., and Gihr, M., 1976, The manus of the Amazon Dolphin, *Inia geoffrensis* (de Blainville, 1817) and remarks concerning socalled 'polydactyly'. In: Investigations on Cetacea, 7: 129—137.
Piller, G., and Chen Peixun, 1982, The brain of the Chinese finless porpoise, 1. Macroscopic Anatomy, In: Investigations on Cetacea, 13: 27—74.
Purves, P. E. and Pilleri G., 1973, Observations on the ear, nose, throat and eye of *Platanista indi*, In: Investigations on Cetacea, 5: 13—57.
Ray, J., 1671, An account of the dissection of a porpoise, Phil. Trans. R. Soc., 6(76): 2274—2279.
Schenkkan, E. J., 1971, The occurrence and position of the "connecting sac" in the nasal tract complex of small odontocetes. Beaufortia, 19(246): 37—43.
Schenkkan, E. J., 1972, On the nasal tract complex of *Pontoporia blainvillei* (Gervais and d'Orbigny, 1844) (Cetacea, Platanistidae), In: Investigations on Ceatacea, 4: 83—90.
Schenkkan, E. J., 1973, On the comparative anatomy and function of the nasal tract in odontocetes (Mammlia, Cetacea), Bijd. Dierk, 43(2): 127—159.
Schenkkan, E. J., 1976, Notes on the nasal tract complex of the boutu. *Inia geoffrensis*. Bijd. Dierk, 46: 275—283.
Schenkkan, E. J., and Purves F. E., 1973, The comparative anatomy of the nasal tract and the function of the spermaceti organ in the Physeteridae (Mammalia, Odontoceti), Bijd. Dierk. 43(1): 93—112.
Slijper, E. J., 1962, Whales, English translated by A. J. Pomerans, Cornell University Press, 1979, 117—153, 305—306, 349—390.
Wilson, R. B., 1933, The anatomy of the brain of the whale (*Balaenoptera sulphurea*), J. Com. Neurol., 58: 419—483.
Wislocki, G. B., 1942, The lungs of the Cetacea, with special reference to the harbor porpoise *Phocaena phocoena* (Linnaeus), The Anatomical Record, 84: 117—124.
Yamasaki, F. and Takahashi, K., 1971, Digestive tract of Ganges dolphin, *Platanista gangetica*, 1. Oesophagus and stomach, Okajimas Fol. Anat. Jap., 48: 271—293.
Yamasaki, F., Takahashi, K. and Kamiya, T., 1972, Liver and bile passage of Ganges dolphin, Platanista gangetica, Okajimas Fol. Anat. Jap., 49: 365—390.
Yamasaki, F., Takahashi, K. and Kamiya, T., 1974, Digestive tract of La Plata dolphin, *Pontoporia blainvillei*, I. Oesophagus and stomach, Okajimas Fol. Anat. Jap., 51: 29—52.
Yamasaki, F., Takahashi, K. and Kamiya, T., 1975, Digestive tract of La Plata dolphin, *Pontoporia blainvillei*, II. Small and large intestines, Okajimas Fol. Anat. Jap., 52: 1—26.
Yamasaki, F., Satomi H. and Kamiya T., 1976, The tongue of Franciscana (La Plata) dolphin, *Pontoporia blainvillei*, Okajimas Fol. Anat. Jap., 53: 77—92.
Yamaski F., Komatsu S. and Kamiya T., 1977, A comparative morphology of tonsils in Platanistidae, Sci. Rep. Whales Res. Inst., 29: 95—100.
Yamasaki, F., Takahashi, K. and Kamiya, T., 1977, Lungs of franciscana (*Pontoporia blainvillei*), with special references to their external aspects. weights and bronchial ramifications, Okajimas Fol. Anat. Jap., 53: 337—357.
Burmeister, G. 1867, Descripcion de cuatro especies de la costa Argentina en el Oceano Atantico, An. Mus. Publ. B. Aires, 1(9): 367—445.
Г. В. Агарков и др. 1979, ФункционалЬная морфология китообразных, "Наукова думка", 182—201.
Грачева, М.С., 1971, Некоторы е особенности строения гортани афалины(Tursiops reolus), Зоологический журнал, 50 (10): 1539—1545.
Кейнеберг, С. Е., 1956, Особенности дыхания китообразных, Усп. Совр. Биол., 41(3): 366—380.
Кейнеберг, С. Е. и Яблоков, А. В., 1958, К морфологии верхних дыхательных путей китообразных, Зоологический журнал, 37(7): 1091—1099.
Мангер, А. п. и Хоменко Б. Г., 1975, Функциональной анатомии и звукообразовательньых способностях верхних двыхателвнвых путей черноморских дельфинов, 〈наукова думка〉 киев.
Яблоков, А. В., Белькович, В. М. и Бори сов В. И., 1972, Киты и дельфины, Издво, 〈наука〉 Москва, 125—144.

第三章　白鳖豚的声呐系统及其他感觉能力

当鲸类的祖先从陆上回复到水中生活后，由于生活环境的巨大变迁，其生活习性，生活方式，以至身体构造等都面临作相应变化的巨大压力。例如，鲸类的祖先在陆上主要是用眼睛，也就是用光感觉系统作为观察环境的主要手段。但回复到水中生活后，由于光的频率极高，在水中衰减极快，因此视力的作用就显得较为有限了。而水是声的良导体，所以声呐系统的发展就成了鲸类动物最佳选择。这就是现代鲸类特别是齿鲸类虽然大多仍具有较好的视力，但仍发展了良好的回声定位能力的根本动力。而且，现代鲸类还能利用声作为互相通讯的工具。但是，在鲸类动物声呐系统发展之初，其原有的适应陆上生活的声学系统在水环境中显得很不适应。例如，其原有的类似其他一般陆生动物的中耳机械小骨系统，即为克服外部空气和内耳中液体的声学阻抗差异而特化形成的匹配网络在水下已不再适用了(Bergeijk, 1967; Popper, 1980; Wever, 1974)。对于在水中的陆生动物或人而言，充满水的外耳道和空气所包围的小骨链之间鼓膜连接处所存在的极大的阻抗不匹配会大大降低听觉灵敏度(Adolfson and Berghage, 1974)。因此，齿鲸类回声定位能力的发展，必伴随着听觉系统更进一步的特化，包括改进的频率分辨能力和高频听觉能力，以适应新的水生生活环境的需要(Popper, 1980)。而声音产生系统也相应地实现了高度的适应变化。整个呼吸系统得到了极大的改进，不仅仅用于呼吸，而且也成为一个声音产生系统。特别的气囊和瓣膜装置得到了发展，以便在不损失空气的条件下有效地发声。在齿鲸类中，还出现了使声信号聚焦成束的结构(Popper, 1980)。下面将简单说明一般海豚内耳、中耳、下颌、鼻道、额隆和喉等可能的发声及声接收器官的一般结构特征，并说明海豚声音可能的发射和接收途径。同时介绍白鳖豚这方面的一些研究结果，希望由此可以对白鳖豚的发声机制及听觉系统有一概括的了解。

一、一般海豚发声及声接收

1. 一般海豚发声及声接收器官

(1) 内耳　　海豚的内耳十分类似于陆生动物的耳蜗，由于要对高频声音进行探测和处理，因此产生了某些适应。例如，毛细胞的数目与人的十分接近(大约 17 000，而人大约为 15 000)，但神经节细胞与毛细胞的比值海豚比人的要高得多(例如，宽吻海豚为5:1，人为 2:1) (Popper, 1980)。Wever 等(1971)认为，这反映了海豚输送高频信息至大脑的通道的繁多，或者说，可能使得耳蜗中的信息能够更详尽地传导至海豚的听觉系统。而且这也与海豚出色的和宽范围的频率分辨能力相吻合，为这种能力提供了形态学基础(Thompson *et al.*, 1975)。同时，海豚的高频听觉能力也由于内耳中基膜硬度的提高以及沿其长度方向硬度变化的增大而得到了改进(Békésy, 1960)。

(2) 中耳　对几种海豚的中耳人们已经作过描述(Fleischer, 1973; Fraser and Purves, 1954, 1960; McCormick *et al.*, 1970; Purves and Utyecht, 1963)。中耳骨包括锤骨、砧骨、镫骨等，都位于由围耳骨和鼓骨所构成的腔中，且互相之间由软骨相连(Fleischer, 1973)。各个中耳腔由一些韧带互相独立地支撑，周围的空间充满了空气(Purves, 1966; Reysenbach de Hann, 1957)。因此，每个腔与头骨的其他部分都是声学隔离的，能够作为一个独立的声探测器进行工作。这一点与须鲸类是不一样的，后者头骨与中耳腔之间仍存在一些联接(Fraser and Purves, 1960)。

按照 Reysenbach de Hann (1957)的观点，海豚的中耳有两种基本功能：一是为传导系统提高一定的硬度，以改善高频信号的通过能力；二是为外部环境和内耳的液体之间提供一个阻抗匹配。对于陆生哺乳动物，较小而轻的这些骨头适应于转换低压信号至一个足够高的水平以刺激内耳。然而，水下声信号的声压要比同一个声信号在空气引起的声压大 60 倍(Popper, 1980)。鲸类要得到较好的水下听力，听小骨必须足够大且重以对抗强大的声压，同时仍保持一定的灵敏度(Reysenbach de Hann, 1957)。

(3) 下颌　齿鲸类的下颌是空的，构成一个下颌腔。下颌腔中的脂肪与中耳的鼓泡相连，且与水有着良好的阻抗匹配，不会引起声能量的大幅度反射。脂肪中的一些分子能大大改进声音的传导。这些分子结构没有出现在身体任何其他部位的脂肪中(额隆除外，而额隆正好是假设的声信号的发射通道，下文将详述)(Popper, 1980)。

(4) 鼻道　海豚鼻道是单孔的从喉至外鼻孔的骨质结构，其上至少有 3 对常常是 4 对气囊，有活板似的结构与鼻道相连(Popper, 1980)。气囊的形状和膨室的数目是不同的(Evans and Maderson, 1973)，而且还有明显的不对称性。即每对气囊的左侧部分比右

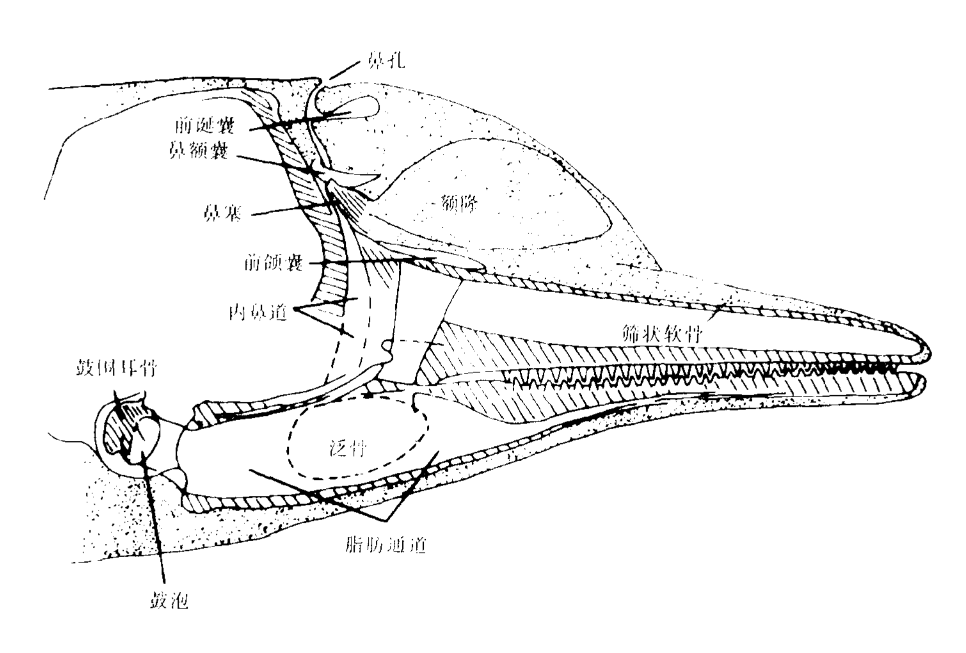


图 3-1　海豚头部与声发射和声接收有关的器官剖面示意图(引自 Popper, 1980)

Fig. 3-1　Section of the head of a delphinid showing various structures associated with sound detection and production (from Popper, 1980)

侧部分更为复杂。处于鼻道上部的气囊(前庭囊、鼻额囊)与下部的前颌囊之间有1对肌肉结构的鼻塞封住了鼻道,并伸入鼻额囊,这一结构使得鼻道分成了颅上和颅下鼻道(Popper, 1980),如图3-1所示。

(5) 额隆　在海豚鼻道的前方、头骨的前上方有1块甜瓜状的隆起,是一饱含脂肪的结缔组织,称之为额隆(见图3-1右上)。解剖研究发现,额隆剖面的纵向长度的一大段(见图3-2中的AB线段)呈对数螺旋线状。且对于来自对数螺旋线焦点的声音,在对应于对数螺旋线形状的额隆的整个延伸区段上都会受到全内反射。而在额隆的端部(其形状不同于螺旋形,如图3-2中的BC虚线段所示),声音可无阻碍地传到水中,形成方向向前的窄波束(格鲁勃柯夫,1984)。

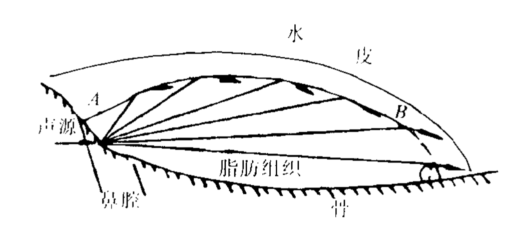


图3-2　海豚前额突出部剖面图(引自 周佩芬,1984)
Fig. 3-2　Diagram of section of the front forehead of dolphins

(6) 喉　喉的外观似鹅头,喉的支架由5块软骨组成。喉头的管道口端有一包在会厌软骨前端并向外翻卷的膜质唇,它与杓状软骨联合形成一喇叭状的口。一般而言,没有真声带(声皱襞),只有假声带(室皱襞)(Purves and Pilleri, 1983)。

几十年来,人们对海豚声音的产生包括发射以及声音的接收途径有很多争论,也提出了很多假设。归纳起来,有下列几种主要观点。

2. 海豚声音的产生及发射途径

Purves和Pilleri(1983)认为声源位于喉头。Purves(1967)将一人造声源分别放置于几种不同海豚[鼠海豚(*Phocoena phocoena*)、间纹斑纹海豚(*Lagenorhynchus cruciger*)和宽吻海豚(*Tursiops truncatus*)等]的喉部,然后测量此声源所产生的声场。发现沿头骨中线声强最大,且从后往前呈增大趋势。由此认为声源位于喉部。他们所描述的发声过程如下:

喉头会厌软骨、楔状软骨及杓状软骨的振动被传导至腭咽肌肉,即腭咽括约肌和咽腭肌,后直接传导至腭骨与这些肌肉的连接处,由此传导至头骨上的脂肪并进入海水。且由于头骨的反射所产生的干涉和叠加现象,使得声能会聚而形成沿犁骨向前的方向性波束。在这发声过程中,他们否认额隆作为一个"声透镜"而有会聚声能以形成方向性波束的作用。他们的发声理论示意如图3-3。

而另外一些人包括Diercks等(1971), Evans和Maderson(1973), Norris(1964, 1969)等认为声源位于鼻道的气囊系统。他们认为位于上下鼻道分界位置的鼻塞(正好处于前述的额隆对数螺旋线的焦点范围)可能相当于一个弛豫振动器以产生声音(Evans, 1973; Evans and Prescott, 1962; Norris, 1968)。Norris等(1971)及Dormer(1974, 1979)用X射线电影技术也证明鼻塞确实相当于一个气动开关　后来,采用硅胶灌注等技术,对有关位置进行了更进一步的解剖研究。又用肌动图和气压测量方法进行了测量。这些工作都证明声源确实位于鼻道内,特别是鼻塞区(Ridgway *et al.*, 1980)。从目前情

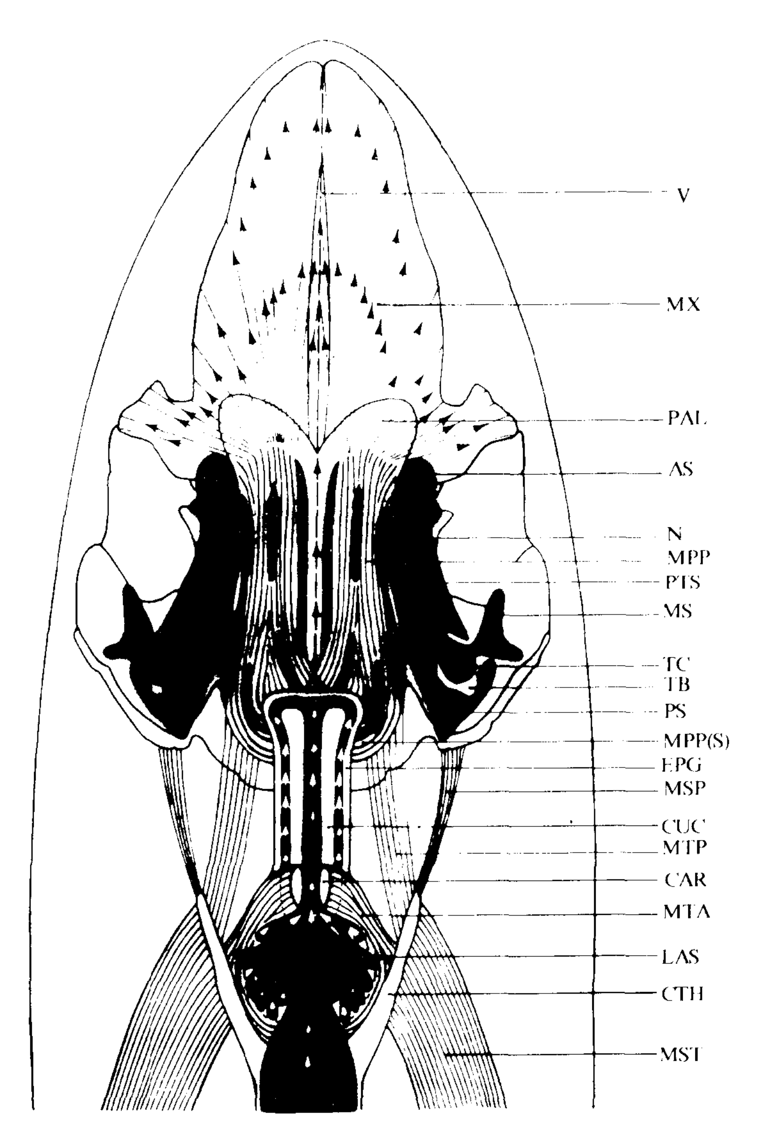


图 3-3 Purves 和 Pilleri 的喉头发声假设示意图
(引自 Purves and Pilleri, 1983)

黑色示空气空间,白色示软骨或骨,白色箭头示空气流的方向,黑色箭头表示声波的传递,AS=气囊,CAR=构状软骨,CTH=甲状软骨,CUC=楔状软骨,EPG=会厌,LAS=喉部气囊,MPP=腭咽肌,MPP(S)=腭咽括约肌,MS=中窦,MSP=咽鼓管咽肌,MST=胸骨甲状腺肌,MTA=甲杓软管肌,MTP=甲状咽肌,MX=上颌骨,N=鼻孔,PAL=腭骨,PS=后窦,PTS=翼状窦,TB=鼓泡,RC=鼓室,V=犁骨

Fig. 3-3 Diagram showing the coupling of sound vibration generated by the epiglottic spout to the palatopharyngeal muscles and skull. Black areas denote air spaces. White areas denote cartilage or bone. White arrows show direction of air streams. Black arrows show propagation of sound waves, AS = air-sac, CAR = arytenoid cartilage, CTH = thyroid cartilage, CUC = cuneiform cartilage, EPG = epiglottis, LAS = laryngeal air-sacs, MPP = palatopharyngeus muscle, MPP(S) = palatopharyngeal sphincter, MS = middle sinus, MSP = salpingopharyngeal muscle, MST = sternothyroid muscle, MTA = thyroarytenoid muscle, MTP = thyropharyngeus muscle, MX = maxilla, N = naris, PAL = palatine bone, PS = posterior sinus, PTS = pterygoid sinus, TB = tympanic bulla, RC = tympanic cavity, V = vomer.

况看来，该发声理论得到了大多数实验的支持，可能较为符合实际情况。也为国际鲸类学界所公认为比较正确。这一发声过程可描述如下：

鼻道下部的前颌囊的压缩空气通过鼻塞（相当于一个气动开关）进入上部气囊即前庭囊和鼻额囊内。与此同时在气囊内由于空气的冲击和摩擦产生声振动。由于气囊左、右侧膨室结构上的不对称性（左比右大且结构复杂），左侧膨室产生哨叫声，右侧膨室产生的答声（关于声信号的分类下文详述）。空气储存在上部气囊然后回到下部气囊以便下次发声时使用。在发声过程中，前颌囊只有少许的膨大，因此它可能是声反射镜，以聚焦声能并阻止声能向头部的纵深发散。而额隆作为"声学透镜"将会聚集来自头骨和前颌囊等反射的声能以形成向前的波束。从额隆和吻端发射入水。

这一发声过程如图 3-4 所示。

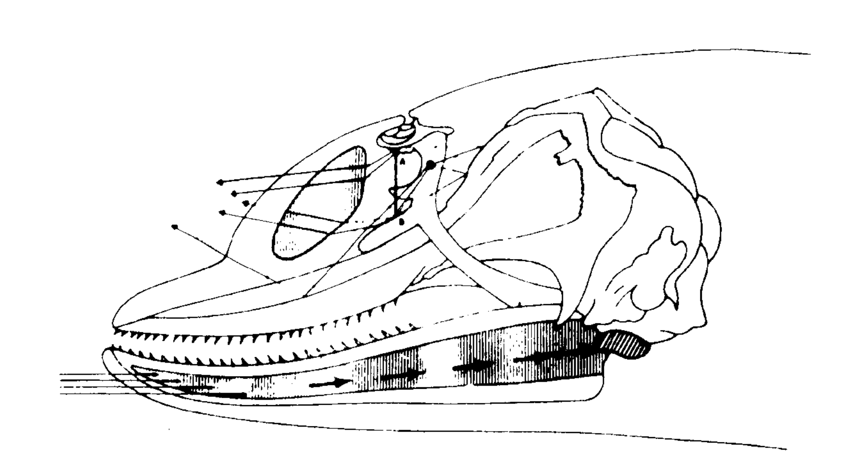


图 3-4 Norris 的鼻道发声假设示意图（引自 Purves and Pilleri，1983）
示额隆的"聚焦"作用，同时表示了"下颌腔是声接收通道的假设"（下文详述）。

Fig. 3-4 Diagram after Norris showing the focusing effect of sound waves through an "acoustic lens" from a source in the upper nares of a dolphin
The Figure also shows his hypothesis of sound reception through the lower jaw.

3. 海豚声音接收途径

这实际上也有两种观点：Fraser and Purves(1954)，Purves (1966，1967)以及 Purves and Utrecht(1963)等认为，外耳道(external auditory meatus，EAM)是声音传导至中耳的通道。外耳道是一个 7—8cm 长的 S 形状的通道，一小孔开口于眼后。他们认为通过 EAM 的声能损失明显地小于通过周围组织的声能损失以及其末端的韧带状的鼓膜与中耳相连的事实说明 EAM 为齿鲸类提供了一个理想的声通道。但 Dudok van Heel (1962) 以及 Reysenbach de Hann(1957)等对这一结论提出了异议：他们认为当考虑到了实验所引起的误差后，外耳道及外耳道周围组织的声能传播损失的差异已经很小了，这种差异实际上没有什么意义。而更进一步的一些实验证明 EAM 周围的脂肪层是一个良好的声通道，声音可能就是通过这些脂肪组织传导至中耳的(Norris and Harvey，1974)。归纳起来，这种观点认为，或是 EAM 或是 EAM 周围的脂肪层是声音的接收通道，而后一种说法

得到了后继实验的支持。但这些实验仍不能排除 EAM 在传导声环境的信息方面以某种与其周围脂肪层不同的方式起着某种作用。但不管怎样,鲸类的外耳道的狭小和堵塞确实使得其几乎没有像陆生哺乳动物那样的在听力方面的功能(Popper, 1980)。

Norris (1964, 1968, 1969) 提出了一个完全不同的声音接受通道的假设。Norris 假设声音是通过位于下颌的充满脂肪的下颌腔传导至齿鲸类的中耳的。这些脂肪最终与中耳的鼓泡相连。他还假设声音是通过位于下颚侧壁上的泛骨(pan bone)进入这个腔的(如图 3-1, 3-4 所示)。后来的一些实验,包括 Ayrapetyants 和 Konstantinov(1974), Bullock 等(1968), McCormick 等(1970), 以及 Norris 和 Harvey (1974) 等的研究证明这一假设是有根据的。实验发现对于 30kHz 以上的信号通过下颌腔传导在大脑皮层激起的反应比通过其他地方传导所激起的反应要大得多。而 EAM 周围脂肪层对于 20kHz 以下的信号有着良好的传导功能。在 20—30kHz 范围内两者(即下颌腔和 EAM 周围脂肪层)都有一定的传导作用。也就是说,对于 30kHz 以上信号下颌腔应是第一位的传导通道,而在此频率之下,EAM 周围脂肪层在信号传导中可能也扮演了重要角色。

对 Norris 的这一假设的最新和最直接的行为学的支持来自 Brill(1986)的研究。Brill 将一头用于目标识别的海豚分别放在三种情况下进行实验。即在下颌上套上一个致密的合成树胶的套子(这一套子对声能衰减很大),或套上一个非泡沫的套子(这一套子对声能衰减较小),或不套套子。然后,观察三种情况下海豚的目标识别正确判别的比率。结果发现,有套子时比率明显低于无套子的情况,而衰减较大套子比率明显低于衰减较小套子的比率。这一实验结果强有力地说明下颌腔是海豚的声音接收通道,至少是通道之一。但这一实验仍不能排除 EAM 周围脂肪层在传导 20—30kHz 以下信号的作用,因为在目标探测时海豚所发出的信号频率峰值均在 30—50kHz 之间。

综合上述两种不同的声接收通道的观点及各自的实验数据,基本上可以认为,EAM 周围脂肪层和下颌腔在声音接收时都有重要作用,只是分别承担了不同频率范围的声信号接收任务,至于两者在 20—30kHz 左右声音接收灵敏度的相似,可能表明它们起着一种听力整合单元的作用(Popper, 1980)。

二、白鳖豚发声和声接收的初步探讨

与海豚不同,白鳖豚终生生活于浑浊的江水之中,能见度较低,领域相对较窄,人类活动较多,地形、水文等生态条件复杂,且视神经已经退化,视力很差(李俊凤等,1984;吴奇久等,1982;吴奇久、李俊凤,1984)。凭借视力去观察周围环境、捕捉食物、维持生存已不可能。声呐系统成了白鳖豚在恶劣的环境中得以繁衍生息,赖以生存的基础。白鳖豚的声呐系统的完善程度如何,它维持自身生存的能力到底怎样,成了目前国内、外学者关注的焦点,也是白鳖豚物种保护的一个重大研究课题。

十几年来,我国科学家在一片空白的基础上逐步开展了白鳖豚声呐系统的研究。取得了一些成果,并已为白鳖豚的物种保护作出了贡献(王丁,1985,王丁等,1988,1989a, b;王丁、景荣才,1990;无线电工程系水声仿生课题组,1980;冯文慧、梁长林,1986;冯文慧等,1985;荆显英等,1981,1982,1983;Chen and Wang, 1988; Feng *et al.*, 1989; Hua *et al.*, 1989; Wang *et al.*, 1989a, b, 1992; Xiao and Jing, 1989)。但应该指出的是,白鳖

豚的声呐研究还有待更进一步的深入。目前已完成的工作只不过是为更深层次的研究以及进而开拓仿生学的新的应用研究领域打下了基础。

1. 白鳖豚发声和声接收的初步研究结果

白鳖豚的上呼吸道的解剖和组织学的研究表明，与海豚一样白鳖豚的上呼吸道上附有 3 对气囊，即前庭囊、鼻额囊和前颌囊，如图 3-5 所示。白鳖豚鼻道和气囊背面观参见图 2-3。

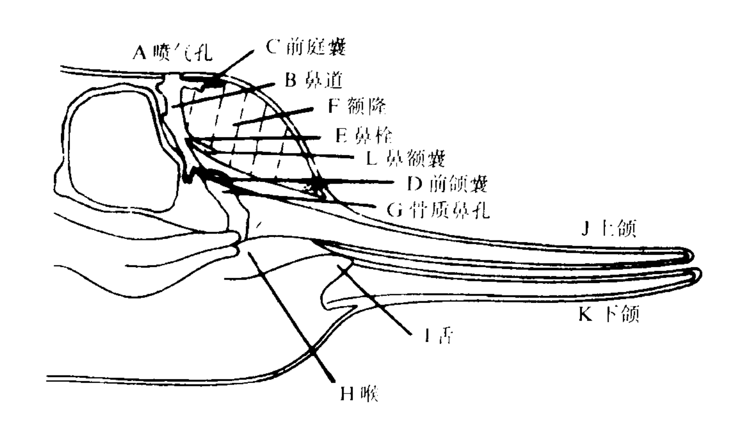


图 3-5 白鳖豚头部沿体轴纵剖面示意图(改自荆显英等,1982)

Fig. 3-5 The longitudinal section of whole head of *Lipotes vexillifer* along the body axis A. blowhole; B. nasal passage; C. vestibular sac; D. premaxillary sac; E. nasal plug region; F. melon; G. bone nares; H. larynx; I. tongue; J. upper jaw; K. lower jaw; L. tubular sac.

在组织结构上，它们的上皮和结缔组织嵌合得相当紧密，并有许多褶皱，因此非常坚实且具有弹性。每个气囊都开口于鼻道，各具一个鼻塞以及控制鼻塞的鼻塞肌。与海豚恰好相反的是白鳖豚 3 对气囊的右侧气囊均比左侧大且结构复杂。白鳖豚的喉的结构也与一般齿鲸类类似，也是由 5 块软骨组成。对喉腔壁的初步组织学观察表明，也只发现有室皱襞(假声带)，而没有见到声皱襞（真声带)(陈佩薰等,1980)。

荆显英等(1982)直接从声学的角度进行了一些测量。认为白鳖豚的声源应在鼻道内，而鼻塞区的可能性最大。联系到白鳖豚的气囊、喉等器官结构与海豚的相似，似乎可以初步认为，白鳖豚的声源确实与海豚一样位于鼻道。至于说由于白鳖豚的左右气囊膨室结构上的不对称性(即右侧膨室比左侧大且复杂)与海豚的正好相反，是否使两类不同声信号("的答声”和“哨叫声”，关于白鳖豚的声信号下文将详述)的发生部位与海豚的也正好相反，即是右边膨室而不是左边膨室产生哨叫声，左边膨室而不是右边膨室产生“的答声”，还有待证实。不过，据观察，白鳖豚发出哨叫声时气泡从左侧鼻孔冒出(Wang *et al*., 1989a)。而 Lilly(1962)发现海豚发出哨叫声时气泡从右侧鼻孔冒出，似乎表明这两者的两类相同信号的发生部位确实正好相反。

关于白鳖豚的声音接收通道，我们还没有很多实验证明。白鳖豚外耳孔同样开口于眼后，开口亦极小，就像一个小针孔一样。需仔细观察才能发现。至于其周围的脂肪层是

否有传导声音的功能，尚不清楚。但是，白鳖豚在搜索环境，扫描发声时，其头部一般仅作微小的摆动，也就是说，从白鳖豚头部前方反射回来的波阵面与外耳道周围脂肪层构成了一个较大的夹角，不处于声波的最佳接受位置。而下颌骨的声敏感区(泛骨区)当头部向左右侧作微小摆动时正好面对反射回来的波阵面，有利于最大限度地接受声音。Norris和Harvey(1974)发现当将声源置于与海豚的体轴线成15°夹角即正好直对泛骨区域时在中耳测量到的声压最大。白鳖豚的探测行为头部摆动方式与此正好类似。据此，我们初步认为，白鳖豚下颌骨声敏感区即泛骨区是声音接受通道，但不排除外耳道即EAM周围脂肪层接受低频信号的作用，因为低频信号具有较强的绕射能力。

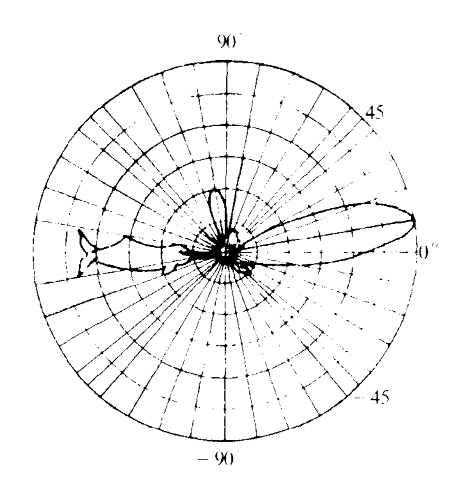


图3-6 水听器放在左鼻栓区40kHz垂直指向性图
注：图3-6—3-12均引自荆显英等，1982。

Fig. 3-6 Directivity pattern of whole head at vertical plane at 40kHz, the hydrophone is placed in left nasal plug region

2. 白鳖豚额隆的声呐功能

如前面所述，额隆是海豚声呐系统的一个重要部件。是声波发射入水的必经之路。荆显英等(1982)、Hua等(1989)及南京工学院(1980)等以白鳖豚为材料，对额隆的声功能进行了较为深入的研究。为此，特另辟一节进行较为详细的介绍。

额隆的声指向性和波速形成作用：为检验额隆在白鳖豚声功能中所起的作用，荆显英等(1982)选取豚类声呐信号中具有代表性的频率40kHz构成纯音信号对白鳖豚的整体头及头骨的声发射指向性图进

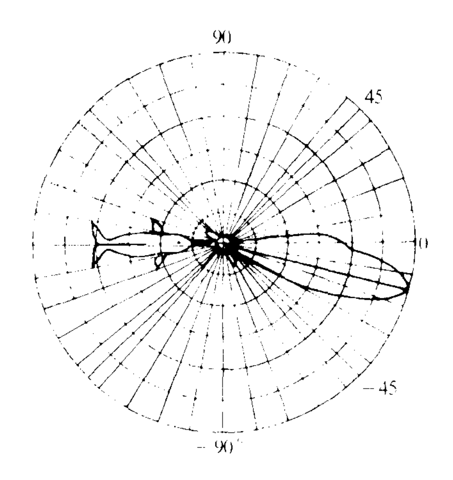


图3-7 水听器放在左鼻栓区40kHz水平指向性图

Fig. 3-7 Horizontal directivity pattern of whole head at 40 kHz, the hydrophone is placed in left nasal plug region

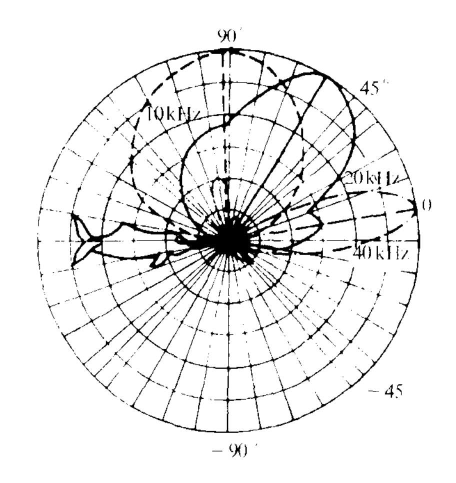


图3-8 水听器置左鼻栓区不同频率下的垂直指向性图

Fig. 3-8 Vertical directivity pattern of whole head at different frequency, the hydrophone is placed in left nasal plug region

行了测量。当实验用声源置于白鳖豚的假想的发声声源位置——左鼻塞区时整体头的测量结果如图3-6和3-7所示。测量结果随着频率变化，如图3-8所示。去掉白鳖豚头部软组织，主要是额隆和颅上鼻道（包括气囊）后，用同样频率（40kHz）的信号，声源置于同样的位置上的测量结果如图3-9和3-10所示。图3-11和3-12是声源置于前颌囊时，整体头和头骨水平指向性图的测量结果。

比较图3-6与图3-9，图3-7与图3-10，图3-11与图3-12，可发现明显的有规律的区

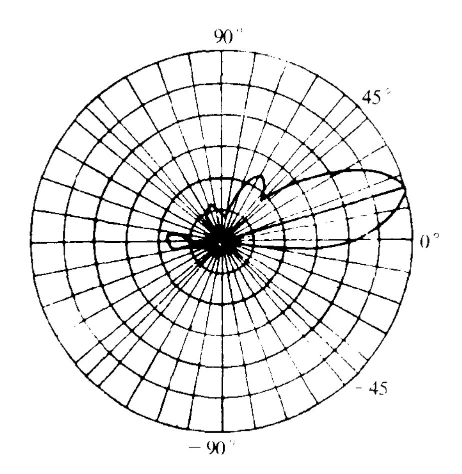


图3-9　水听器放在与图3-6相应的位置上40kHz头骨垂直指向性图

Fig. 3-9　Vertical directivity pattern of the skull at 40kHz, the hydrophone is placed at the position corresponding to that as in Figure 3-6

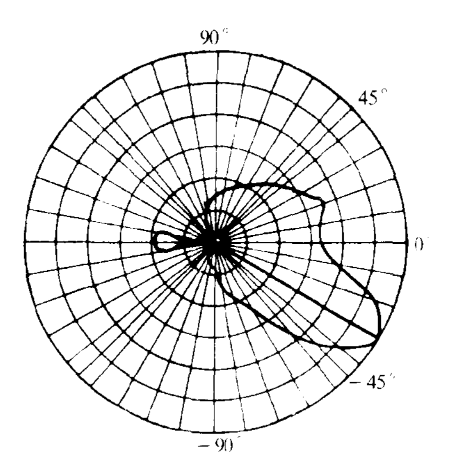


图3-10　水听器放在与图3-7相应的位置上40kHz头骨水平指向性图

Fig. 3-10　Horizontal directivity pattern of the skull at 40kHz, the hydrophone is placed at the position corresponding to that as in Figure 3-7

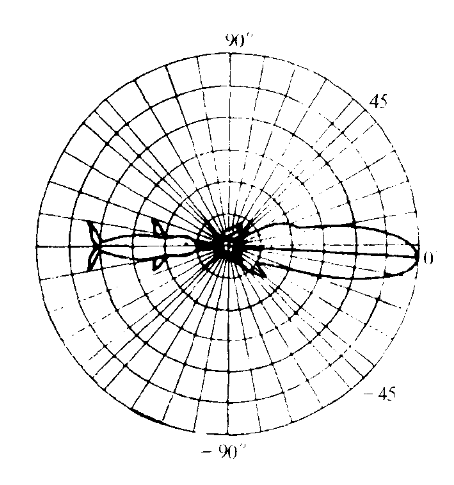


图3-11　水听器放在左前颌囊中40kHz整体水头平指向性图

Fig. 3-11　Horizontal directivity pattern of whole head at 40kHz, the hydrophone is placed in left premaxillary sac

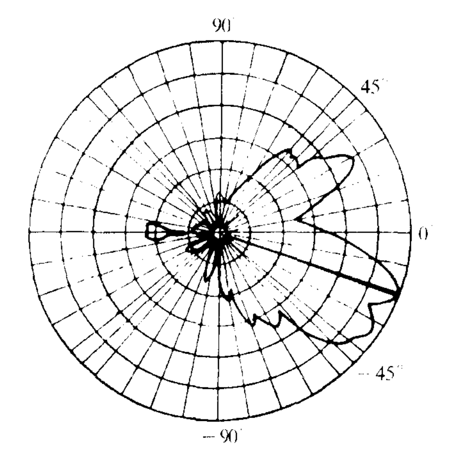


图3-12　水听器放在与图3-11相应位置40kHz头骨水平指向性图

Fig. 3-12　Horizontal directivity pattern of the skull at 40kHz, the hydrophone is placed at the position corresponding to that as in Figure 3-11

别。即：不论是垂直面内还是水平面内，整体头的波束宽度明显地比头骨波束为窄。整体头的主轴仰角比头骨的主轴仰角低。整体头的主轴右旋角度比头骨的主轴右旋角度小。从图 3-8 可以看出，波束宽度与波束方向与发射信号频率也有关系。频率增高，主轴方向趋向体轴，波束宽度变窄。反之亦然。

由此可见，在白鳖豚的声发射的波束形成过程中，额隆发挥了极其重要的作用。虽然，由于头骨的隔离和反射功能，波束已被初步形成，但通过额隆后，所发射的波束明显地被进一步的加工。其结果是将由头骨初步形成的波速主瓣变窄，同时又使副瓣变小。即使声能更集中于主瓣所指的某一特定方向。而这一特定方向又由于额隆的作用使得其更趋向于体轴，即额隆使得声能更集中地向前方辐射。也就是说，额隆相当于一个“声学透镜”，对波束具有“聚焦”功能(荆显英等，1982)。

3. 白鳖豚额隆的结构与声速分布

荆显英等(1982)通过解剖研究发现，“白鳖豚的额隆组织有明显的不均匀性。靠近表皮是质地坚硬的结缔组织，越往里质地越松软，而含油脂越多。在其右后下方有一明显的‘油核’，颜色由周围的灰色逐渐变为淡黄色”。

白鳖豚额隆的声测试结果表明，额隆的声速分布与其组织和形态结构特性密切相关。由测试数据所作出的相应的三个截面的声速分布和大体的等声速线图如图 3-13、3-14 和 3-15 所示。

从这些图可以清楚地看出，声速在白鳖豚额隆中呈有规律的分布，但左右明显不对称。这一点与白鳖豚头的明显不对称性是一致的。特别是在“油核”相对应的位置声速相对较低，形成了一个低速核。在低速核周围，声速随着与核距离的加大而逐渐增大。但等速线并不是均匀分布。从水平截面看来在低速核的左侧等速线密度小即声速梯度小，

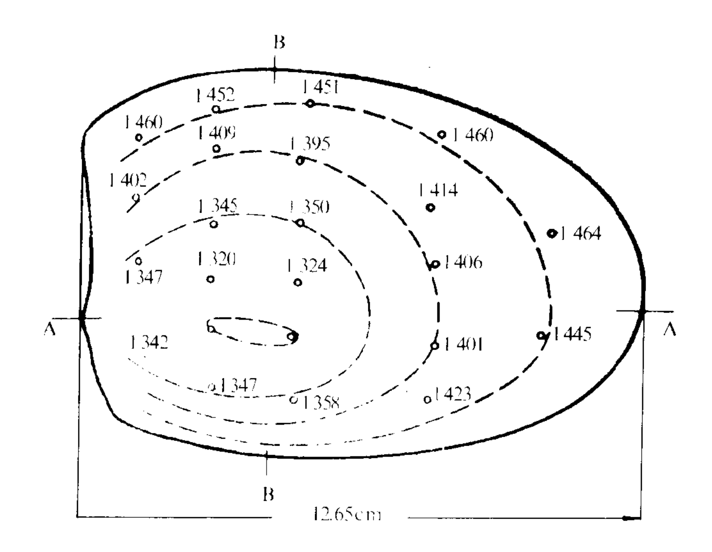


图 3-13 额隆最大水平截面上的声速分布及等声速线图

注：图 3-13—3-17 均引自荆显英等，1982。

Fig. 3-13 Pattern of sound velocity distribution and equal velocity line on max. horizontal section of the melon.

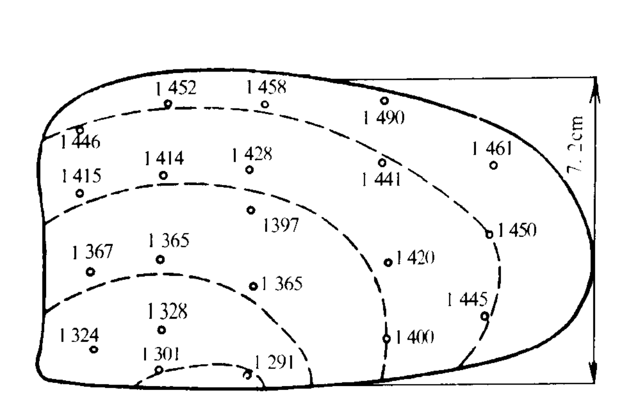


图 3-14 沿体轴 AA 方向垂直截面上声速分布及等声速线图

Fig. 3-14 Pattern of sound velocity distribution and equal velocity line on AA vertical section along the body axis.

图 3-15 垂直体轴沿 BB 方向垂直截面声速分布及等声速线图

Fig. 3-15 Pattern of sound velocity distribution and equal velocity line on BB vertical section.

而右侧等速线密度大即声速梯度大。但总的趋势是从里往外,声速依次增大,至表层时声速已接近水之声速。

图 3-16 和 3-17 是根据所测数据,不考虑头骨和气囊的反射作用,每隔 10°为一条入射线,用几何法作出的额隆内的声线图。

由图可见,不论是在水平截面还是在垂直截面内,都存在一轴线 OZ,此轴即波束主轴。在 OZ 的两侧声线均向该轴线弯曲而形成波束,或进一步使波束变窄,这就是额隆的"声透镜"作用形成的机制。

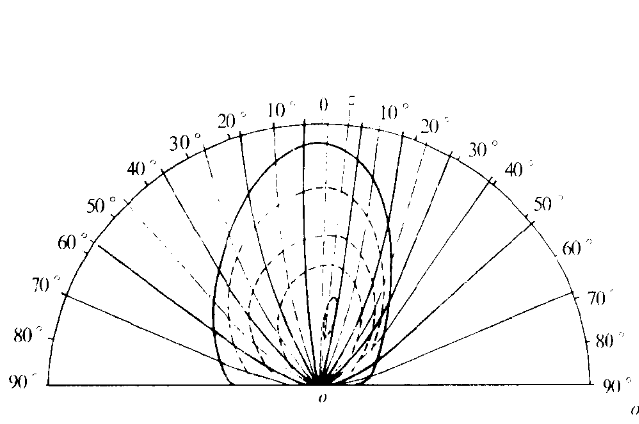


图 3-16 额隆最大水平截面上的声线图

Fig. 3-16 Sound ray trace figure on max. horizontal section of the melon and the interval of the angle of incidence in 10°

图 3-17 沿体轴 AA 方向垂直截面上的声线图

Fig. 3-17 Sound ray trace figure on AA vertical section along body axis

Hua 等(1989)及南京工学院(1980)也对白暨豚额隆的超声衰减和声速的分布进行了研究。发现额隆中若干点处声衰减非常小,或零,甚至出现负值,这意味着当声波沿此声路径传输时声压振幅不但不减小反而增大(这一点令人费解,可能与实验方法有关)。将这些点顺序地连接起来,形成两条声路径,它们像两条小的声道,且与最小声速值的两条连线相一致,并且与从左右鼻栓出发向头部前方传播方向相重合。

总之,这些研究都证明,白暨豚额隆具有良好的声传导能力,并具有波束形成,即声聚焦能力。使得白暨豚发射的声波能量更加集中,使波束更窄并指向前方。特别值得注意的是,额隆在将由头骨反射形成的波束主瓣变窄的同时,也大大抑制了副瓣。而这正是人工声呐工程中需要解决而又难以做到的。同时,由于额隆表面的声阻抗同水的声阻抗互相匹配,使得声能能十分有效地辐射出去。荆显英等(1982)还提出假设,白暨豚可通过额隆的组织密度及形状的变化,也就是说通过波阻抗及曲率的变化,达到声能的最大传输并改变其声呐特性,如波束方向和波束宽度等。这个问题仍有待于进一步研究。

三、白暨豚声信号的特征及其与行为和环境的关系

声呐系统是白暨豚维持生存的重要手段。为了满足自身需要和适应环境,白暨豚的声信号必有其特征且与行为和环境有着密切联系。关于白暨豚声信号特征的研究,首先由荆显英、肖友芙等(1981,1983)开展起来,以后由王丁等(王丁等,1989 a, b;Wang *et al.*, 1989a)作出进一步研究,特别着重探讨了白暨豚声信号特征与行为和环境的关系。

1. 白暨豚声信号的分类及其物理特征

根据声信号的物理特性的差异,与海豚一样白暨豚主要具有两大类信号,即高频脉冲信号和低频非脉冲时间连续信号(王丁等,1989 a, b;荆显英等,1981,1983;Wang *et al.*, 1989a; Xiao and Jing, 1989)。

(1)高频脉冲信号　高频脉冲信号为一串彼此相似的多个窄脉冲组成的脉冲串序列,根据其发声特点,又称为"的答声",每列"的答声"的脉冲数可从几个到几十个甚至上百个以上,脉冲串之间可能在脉宽、脉冲间隔、脉冲个数、持续时间、峰值频率等之间存在显著差异。

1)"的答声"的频率结构:"的答声"信号的频带较宽,频率范围一般为 8—160kHz。能量主要集中在超声范围,峰值频率在 20—120kHz 之间。图 3-18 表示了一个典型的"的答声"脉冲串的一部分及其频谱图。

表 3-1　脉冲间隔(时间单位: ms)(引自荆显英等,1983)

Table 3-1　Pulse intervals(unit: ms)

列间隔	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Max	1.613	1.288	1.038	2.788	1.194	1.469	0.918	0.963	1.025	1.713	1.913	1.81
Min	1.088	0.788	0.875	0.369	1.013	0.825	0.413	0.531	0.681	0.844	1.288	0.594
Mean	1.260	0.991	0.977	0.988	1.123	0.960	0.725	0.783	0.852	1.194	1.509	0.888
与前列间隔		4.163	5.913	4.525	2.494	5.163	3.794	14.688	5.838	1.550	5.138	4.563
脉冲个数	5	5	5	8	5	6	6	7	5	4	4	3

2）“的答声”的脉宽和脉冲间隔：随机选取的相邻的12列“的答声”的脉冲间隔统计结果如表3-1所示。最大的脉冲间隔为2.79ms，最小为0.37ms，平均1.02ms。脉宽约60μs左右。

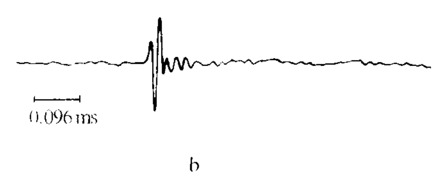
3）“的答声”的其他一些结构特征：列间反相——白鳖豚常常会发出一系列“的答声”脉冲列。通过分析发现，每相邻两列“的答声”中的脉冲相位必相反。在同一序列中脉冲相位相同。

稳定性——在同一序列中，脉冲不仅同相，波形也十分稳定、相似。列内相邻脉冲的相关系数绝大多数在0.9以上，而列内任意两脉冲之间的相关系数在0.9以上的也占一半以上。通常在同一列内相邻脉冲之间的相关系数大于任意两个脉冲之间的相关系数。由此可见，列内脉冲的波形是渐变的。同时，相邻的不同序列的脉冲也保持着相对稳定性。

高、低频结构——一般而言，“的答声”脉冲串的每一个脉冲的频谱是前高后低。即脉冲的前半部分频率较高，且较稳定。后半部分频率较低，且不稳定，脉冲间有较大差异。

线性周期调制特性——通过测量脉冲高频部分过零点的时间间隔发现，过零点





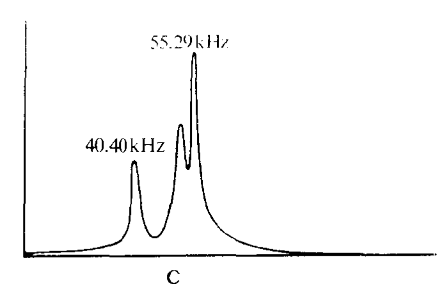


图3-18 （a）“的答声”脉冲串时域波形图（0.15ms/mm）；
（b）“的答声”的单个脉冲（9.6μs/mm）；
（c）该脉冲的富里叶功率谱
（引自 Wang *et al.*，1989）

Fig. 3-18 (a) Oscillogram of a click train (0.15ms/mm);
(b) one click (9.6μs/mm);
(c) the click's Fourier power spectrum

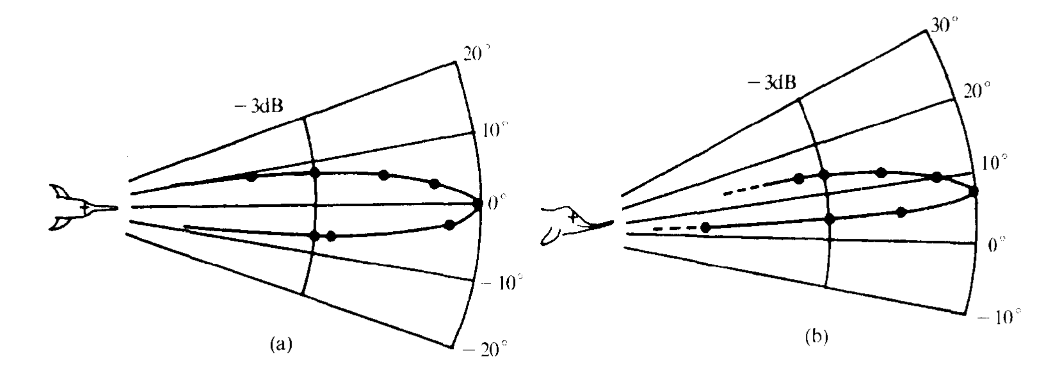


图3-19 “的答声”水平与垂直指向性图（引自荆显英等，1983）
Fig. 3-19 Directivity patterns of clicks

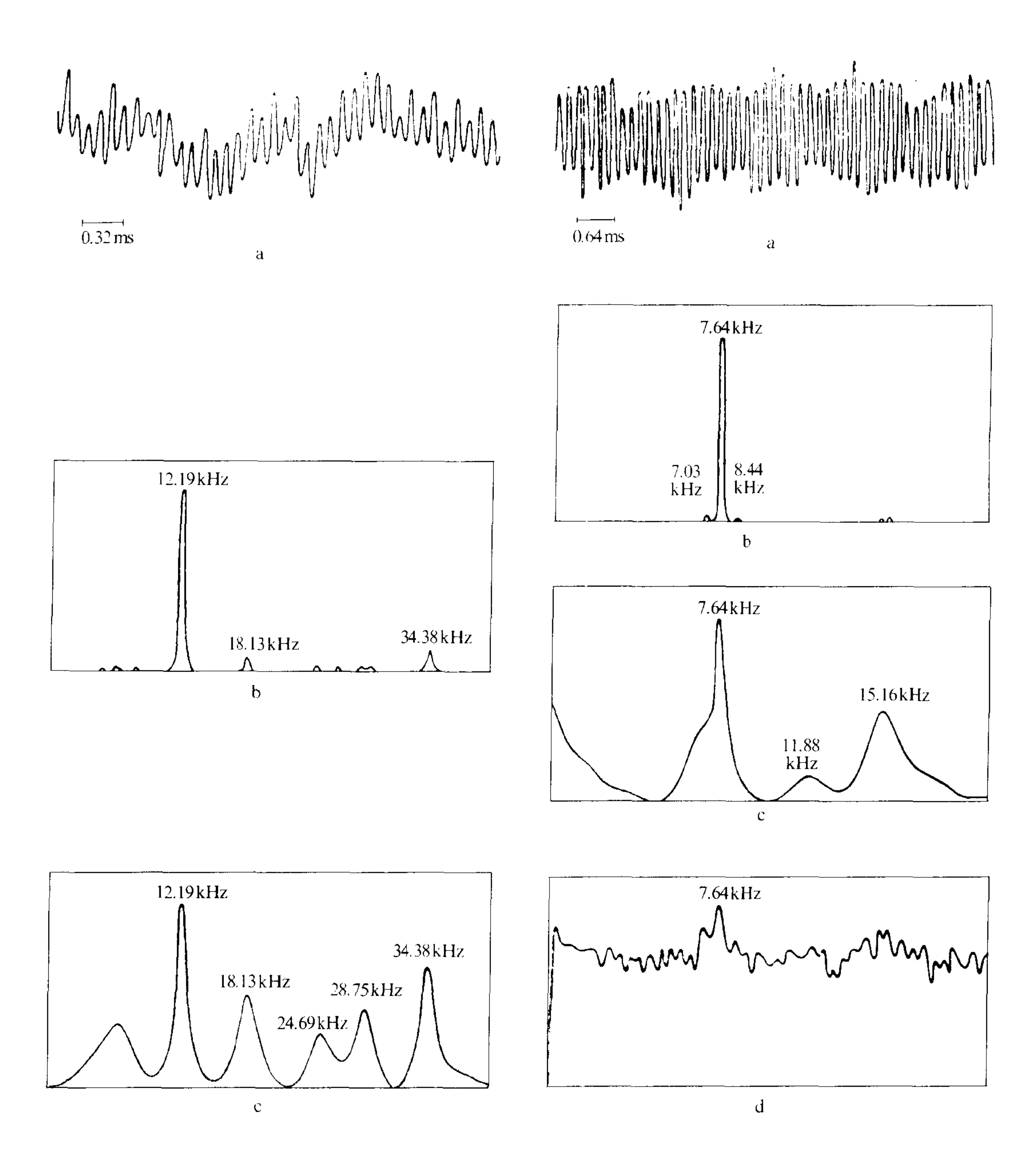


图 3-20 呼唤声波形图及功率谱
(图 3-20 至 3-22 引自 Wang *et al*., 1989a)
(a)呼唤声一段的时域波形图(32μs/mm);
(b)该段波形的富里叶功率谱;
(c)最大滴谱功率谱。
Fig. 3-20 Oscillogram and Power spectrum of call signal
(a)Oscillogram of a time slice of call signal (32μs/mm);(b)its Fourier power spectrum; (c)its ME power spectrum.

图 3-21 吱吱声波形图及功率谱
(a)吱吱声的一段的时域波形图(64μs/mm);
(b)该段波形的富里叶功率谱;
(c)最大滴谱功率谱;(d)对数功率谱。
Fig. 3-21 Oscillogram and Power spectrum of squeak
(a)Oscillogram of a time slice of squeak (64μs/mm);(b)its Fourier power spectrum;
(c)its ME power spectrum;
(d)its Log. power spectrum.

的间隔按指数规律变化,即周期是时间的线性函数。也就是说,白鳖豚的“的答声”具有线性周期调制特性,即是对数相位调制或双曲调频信号,也就是多普勒不变信号。

4)“的答声”的声辐射指向性图和声压级:经测量,白鳖豚“的答声”的声辐射指向性图如图3-19所示。

由图3-19可以看出,白鳖豚“的答声”的水平指向性的-3dB束宽为13°,垂直指向性的-3dB束宽为9.1°。波束主轴与体轴之间有7.5°仰角。这一结果与前述的白鳖豚头部标本的利用40kHz纯音信号所作的指向性测试结果是基本一致的。

白鳖豚“的答声”的声压级经测得为156.1dB(相当于1 μPa)。这一数值与其他3种体形相近的淡水豚相近,而明显低于宽吻海豚和虎鲸(*Orcinus orca*)等体形较大的鲸类。

除了如“的答声”这样的脉冲串序列外,白鳖豚有时还发出一些无规单脉冲。这些脉冲不论是波形,还是频谱结构相互之间差异较大。与“的答声”脉冲串中的单个脉冲也不相同。频率相对较低。人耳听起来有的如敲击铁板发出的声音,有的如爆竹爆裂的声音等等。

值得指出的是,在同一时间过程中白鳖豚能同时发出三个脉冲间隔互不相同,波形和频率构成也存在显著差异的不同脉冲串。表明它可能具有三个独立的振动源。这是否与鼻道中存在3对气囊有关,还有待于进一步研究。

(2)低频非脉冲时间连续信号　这类信号的共同的物理特征是能量主要集中在音频范围,频带较窄,频率结构十分简单,几乎是单频纯音信号。持续时间长短不一。有的可在空气中发生。根据其声响特点,并参照其他海豚声信号的命名,这类信号可统称为哨叫声。图3-20—3-22是几种在人工饲养条件下记录到的白鳖豚哨叫声的波形和频谱图。根据其行为功能(下文详述)分别命名为呼唤声、吱吱声和哞叫声。

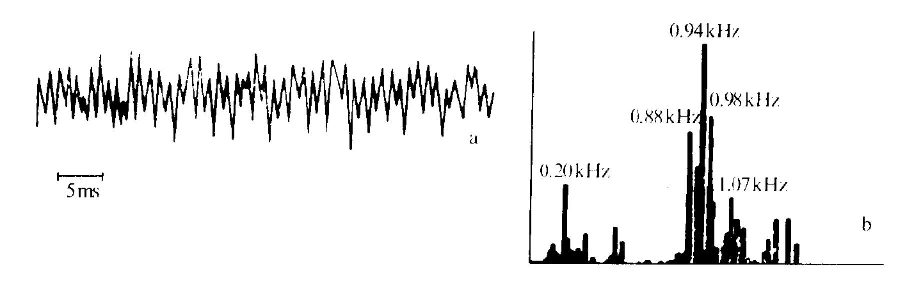


图3-22　哞叫声波形图及功率谱

(a)哞叫声的一段时域波形图(0.5 ms/mm);(b)该段波形的富里叶功率谱。

Fig. 3-22　Oscillogram and Power spectrum of bellow

(a)Oscillogram of a time slice of bellow (0.5ms/mm); (b)its Fourier power spectrum.

2. 白鳖豚声信号的功能

白鳖豚声信号的分类反应了不同声信号物理特性的差异。同时,不同声信号必有其自身特有的功能(王丁等,1989 a、b;荆显英等,1981,1983;Wang *et al*., 1989a; Xiao and Jing, 1989)。

(1)“的答声”与回声定位　记录表明,“的答声”主要是白鳖豚在作探测如观察环

境，捕捉食物时发出。当投鱼于水听器附近时就可听到大量的这类信号。白鳖豚可根据这些信号从被探测物体反射回来的回波来分析这些物体的性质，所在位置、形状和大小等。类似于人工声呐系统的工作过程。这个过程就其定位功能而言也称之为“回声定位”(echolocation)。所以，“的答声”就是白鳖豚的“声呐”信号或称“回声定位信号”。声呐功能或回声定位功能是白鳖豚声系统中最重要的功能之一。正是因为白鳖豚拥有了这一功能，才使得生活在浑浊的江水之中，且自身视力又已经退化的白鳖豚得以维持生存和繁衍生息。

(2)哨叫声与通讯　　维持个体或群体之间的通讯联络是动物特别是像鲸类这样的高度社群性动物维持生存的必要手段之一。所谓通讯实际上就是信息的发送者在各种不同通讯通道中发送能量而信息的接受者在同一通道中探测这一能量的存在和其中包含的信息的过程(Herman and Tavolga, 1980)。对于生活在水中的鲸类而言，声通讯可能是其主要的通讯手段。我们的研究结果表明，白鳖豚的哨叫声与寻觅、联络和情感表达有关，也就是说白鳖豚的哨叫声主要具有通讯功能。

(3)脉冲信号包括“的答声”也有通讯功能　　通过声信号的记录和分析及其与行为的对比研究发现，脉冲信号包括“的答声”也可能帮助个体之间的联络，且可能帮助促进个体之间的相互了解，也就是说，脉冲信号包括“的答声”也可能具有通讯功能。

3. 白鳖豚的声信号与行为的关系

跟一般动物一样，白鳖豚声信号的功能反映在其跟行为的关系上。研究白鳖豚声与行为的关系，对于保护白鳖豚这样濒临灭绝的物种具有特别重大的意义(王丁等，1989 a、b; Wang *et al*., 1989a)。

(1)“的答声”与探测行为　　在人工饲养条件下对环境已经十分熟悉的豚平常很少发出“的答声”。发出的“的答声”脉冲间隔较大，脉冲重复频率较低，脉冲个数也较少。但在对某些物体如鱼、丢入池子的异物(如水听器、救生圈、皮球等)进行探测时，脉冲数明显增多，脉冲间隔变小，脉冲重复频率增高，持续时间增长。且这些参数与探测任务有关。对于较熟悉的物体如鱼等发出的脉冲数相对较少，对一些不熟悉的异物探测时脉冲数明显增多。此时，白鳖豚可较长时间将头对准该物体扫描，头部作微小摇动，有时围着目标圈游，但头始终对准目标，不断发出一串串长脉冲序列，显然是在对该物体进行仔细的探测和识别。随着对目标距离的接近，脉冲重复频率越来越高，这与所发射的脉冲从目标往返所需的时间有关。尔后渐渐下降，最终停止发射脉冲，从目标游开。一般而言，只要有探测行为，就必伴随着“的答声”的发生。

(2)“的答声”与探视行为　　当我们将两头素不相识的白鳖豚置于中间有过道相通的两个不同池子时，从置于过道中央的水听器中可听到大量的“的答声”。此时，两头白鳖豚面对面互相探视。随着时间的推移，它们之间的距离越来越近。当这两头白鳖豚自动进入到同一池子生活后，开始它们均显得比较紧张，各据池子的一半活动，绝不进入对方的活动范围，同时继续不断地发出“的答声”。当两头白鳖豚变得熟悉以后，开始在一起游动，探视行为渐渐消失，“的答声”也随之减少。

(3)哨叫声与寻觅行为　　白鳖豚在互相找寻的过程中会不断发出哨叫声。图 3-20 中的呼唤声就是在这种情况下记录到的。当时，一雌性未成年个体“珍珍”与另一成年雄

性个体“联联”饲养在一起。“珍珍”和“联联”均捕自长江中一个3头白鳖豚的群体。当“联联”因病移出池子后,“珍珍”显得焦虑不安,不断地四处探测,甚至不能正常进食。我们也首次记录到了这种哨叫声,且多而密。但随着时间的推移,信号渐渐减少。“珍珍”的活动,摄食也渐渐恢复正常。说明该豚已逐渐放弃了寻找的努力。当我们将该豚放入一个与饲养另一头雄豚“淇淇”(已在人工饲养条件下生活了6年多,并与“珍珍”从未见过面)的池子相通的池子时,我们也第一次记录到了“淇淇”也发出了类似的哨叫声。最终“珍珍”终于自己游进了“淇淇”的饲养池,说明哨叫声确实具有寻觅功能。

(4)哨叫声与白鳖豚的兴奋及性行为　图3-21中的吱吱声常常出现在已成年雄性豚“淇淇”十分兴奋的时刻或性行为较多时。喂食前,“淇淇”常表现出食前节律,即沿池壁快速游动,尾鳍使劲地上下摆动,搅起阵阵波浪,此时常伴随发出一连串尖锐的哨叫声。即使远离饲养池,人耳也会感到十分刺耳。有时在发声的同时,还可以看到白鳖豚从鼻孔冒出一串串小气泡。开始喂食和喂食后,随着白鳖豚恢复平静,这种哨叫声即消失。当白鳖豚处于性活动期,表现出性行为时,就像前章已谈到的一样会伴随发出大量的这样的哨叫声,有时甚至在空气中发射。一旦性行为动作消失,该信号也随之消失。

所以说,这种特定的哨叫声是“淇淇”精神亢奋、情绪激动和性兴奋的表现。可能还有求偶的功能。

(5)哨叫声与白鳖豚的呼救行为　刚来到人工饲养条件下的白鳖豚在被搬出水面放在担架上进行体检时,身体会使劲摆动,或尾鳍用力拍击担架,或头部使劲左右摇晃,或背部弓起,或身体扭曲,使劲收缩肌肉,显得极度不安。此时,常伴随发射大量的哨叫声。而且年轻个体较成年个体为多。哨叫声的具体形式随个体不同而异。显然,这是白鳖豚感到恐惧的一种表现。因为惯于在水中生活且不会接触到人的白鳖豚被抬出水面置于担架上,身体受压,且还必须接受各种检查的操作,势必感到惊慌、害怕。特定哨叫声的发出正是表达了它的这种恐惧的情绪且可能有向同伴呼救亦或报警的意义。这样的哨叫声随着检查次数的增多而逐渐减少直至最后消失。

(6)哨叫声与白鳖豚的悠闲　图3-22中的哞叫声并不多见。仅当“淇淇”在夜深人静玩耍时记录到几次。此时,“淇淇”一般缓慢游动,常用身体去摩擦池子里的玩具,并在玩具周围上下起伏。我们认为,这样的哨叫声在这样的行为中出现表达了“淇淇”悠闲自在的情绪。

需要指出的是,虽然根据声信号的记录、分析和行为观察的对比研究,我们认为白鳖豚某种特定的行为可能与某种特定的哨叫声有关,但是不同的个体在同一种行为型式下却可能发出不同的哨叫声,这就是哨叫声的个体差异(Wang, 1993)。同时,对同一个体而言,处于某些似乎不同的状态和行为下,发出的哨叫声却可能相近。如前面谈到的“珍珍”在寻觅行为中所发出的哨叫声和它在接受身体检查时所发出的哨叫声基本上是一样的。实际上,这两种行为状态所包含的情绪本质可能是一样的,即白鳖豚均感到孤独、恐惧。寻觅行为本身也包含了呼救的意义。

4. 白鳖豚的发声和对环境的适应

白鳖豚的声信号特征与环境有关,这是进化的结果。发声次数也表现了一个适应环境的过程(王丁等,1989b)。

(1)声信号特征与环境的关系

1）信号波束宽窄适应白鱀豚的自身需要：研究中，我们发现哨叫声等通讯信号波束宽度明显大于"的答声"的束宽。且"的答声"的束宽与频率有关：频率越高，波束越窄（荆显英等，1982）。反之亦然。同时，如前所述，"的答声"频率较高，频带较宽，能量集中在超声范围；而通讯信号频率较低，频带较窄，能量集中在音频范围。这正是白鱀豚为了满足自身需要和对环境条件的一种适应。因为：①通讯的目的是与对方进行联络，有时正是因为不知对方位于何处，才发出联络信号。故而需要波束较宽，使得覆盖范围大。同时频率较低而使得衰减较小，以便能传播更远的距离，达到交换信息的目的。②"的答声"主要是作为回声定位的手段。频率较高，频带较宽的信号有利于对目标作精细的探测；波束较窄能使能量集中，同时避免目标以外的其他物体的干扰。另一方面，一般情况下，水体中处于超声范围的环境噪声强度较小，白鱀豚回声定位信号能量集中在超声范围而且频带较宽可有效地减弱环境噪声对其回声定位能力的影响。同时，高频率、宽频带的信号不仅能使其获得目标距离和位置的信息，而且还获得目标本身如材料、形状、大小等方面的信息（格鲁勃柯夫，1977）。③当白鱀豚并不需要对某一具体目标进行探测，而只是希望获得周围大环境的基本信息时（如巡航中），就发出频率相对较低的"的答声"使得波束较宽，以便一次"的答声"的发射就能覆盖较大范围。

2）"的答声"的多普勒不变性是对生态条件的适应：白鱀豚的食物是鱼，而且又终生生活在船只来往频繁的长江之中，因此在发出"的答声"时，自身声源与被探测目标之间总是处于相对运动之中，多普勒效应的影响不可避免。使用线性周期调制信号即使"的答声"具有多普勒不变性可能就是对这种生态条件的一种适应。同时，在采用线性周期调制信号之后，再在信号的后半部分加上低频部分以进一步扩展其带宽，可能是为了提高其声呐系统的识别性能（荆显英等，1983；Xiao and Jing，1989）。

(2)声发生次数与对环境适应的关系

1）"的答声"发声次数的多少表明了对环境适应的程度：白鱀豚刚进入一个陌生的而且与长江自然环境截然不同的人工饲养池后，会显得很不习惯，且感到恐惧，拒绝进食。不断对周围环境如池壁等进行探测。与此同时不断地发出"的答声"。随着时间的推移，探测行为减少，白鱀豚发声的次数也渐渐减少，10天左右后就很少了。此时白鱀豚也开始进食，说明白鱀豚对新的环境已开始有一定适应了。

通过对池中丢入异物后白鱀豚的反应同样可看出"的答声"的发生和对环境适应之间的关系。如前文所述，当救生圈、皮球、水听器等物体丢入水中后，对这类物体已较熟悉的白鱀豚仅简单探测一下，然后就置之不理。而刚到人工饲养环境的白鱀豚在开始几次会迅速逃避，经过几天的适应后，就会在物体的周围圈游，并从不同方向探测，随着物体的移动，白鱀豚的头部会跟随其运动，额隆的轴线总是指向这个物体，同时发出大量的"的答声"。但是随着时间的进一步推移，白鱀豚的这种好奇心理渐渐减弱，发声次数也随之减少，说明对这类物体也慢慢熟悉起来了。

陌生的白鱀豚刚在一起生活时，也会发出大量的"的答声"互相探测，且都显得比较紧张，绝不进入对方活动区内活动。过几天之后，"的答声"变少了，白鱀豚也开始平静下来，可以在一起活动。显示经过几天的适应后，陌生白鱀豚已变得熟悉起来，适应了变化了的生活环境。

总之,“的答声”的发生和发生次数在一定程度上表明了白鳖豚对环境的适应状况,可以作为白鳖豚对环境适应程度的一个指标。发声较多,说明对环境感到陌生甚至恐惧,发声较少或保持静默,说明对环境已不陌生或者已相当熟悉。通过分析其发生次数和时间的相关关系,可以在某种程度上对白鳖豚适应环境的能力和速度作出一定的评价,并估计其对环境的适应程度。

2)哨叫声的发生次数与对环境适应的关系

在前面的“信号与行为的关系”一节中,我们已经提到,刚到人工饲养环境的白鳖豚接受体检时会发出具有呼救意义的哨叫声。这种声音是白鳖豚对环境感到恐惧的一种表现。但随着体检次数的增多,身体的摆动减少,这种哨叫声的发声次数也随之减少,直至最终消失。我们认为,这一声信号的发生随着饲养时间的延长(即体检次数的增多),由多而少到无的过程从一个侧面反映了白鳖豚对环境的一个适应过程。信号本身还能帮助我们了解白鳖豚所处的状态。

前文也谈到,有的哨叫声具有寻觅的功能。对于寻觅者而言,失去被寻觅者等于开始了单独生活的新环境。这种具有寻觅意义的哨叫声由多而少反映了白鳖豚对这种环境的变化的一个适应过程。这种声音的最终消失反映了白鳖豚最终放弃了寻觅的努力,同时对单独生活的新环境也渐渐习惯。

总之,白鳖豚的各类信号的发生次数可以作为白鳖豚对环境适应程度的一种量度,从一个侧面反映了白鳖豚对环境的适应状况和所处状态,这一点对人工饲养条件下的繁殖学研究及物种保护具有指导性意义。

四、白鳖豚的听觉、视觉和其他感觉能力

白鳖豚的陆生祖先在回复到水中生活后,为了应付环境的突变,其原先拥有的各种感觉能力无疑会发生各种适应性的变化。

1. 白鳖豚的嗅觉和味觉

一般而言,鲸类的嗅觉缺失。

陈宜瑜(1979)通过对白鳖豚的大脑研究发现,与其他鲸类相似,白鳖豚的嗅分析器显著退化,无嗅球、嗅束,也无明显的梨形区和前连合。虽有发达的嗅结节,但已不具有嗅觉功能。而实际上,由于白鳖豚的水生生活方式,鼻孔在绝大多数情况下都是关闭的,出水呼吸时也只打开极短时间。且由于进化的结果,鼻孔已位于头部顶端,这些都不适宜嗅觉功能的施展,排除了嗅觉的作用。

就目前所知,一些鲸类可能具有味觉功能。实际上,鲸类的味觉并不像嗅觉那样为了适应水生生活呼吸控制的要求而不得不退化,味觉并没有面临这样一种一定会促使它消失的生态压力(Herman and Tavolga, 1980)。

李悦民(1983)在研究白鳖豚的舌头时发现,尽管有报道说淡水豚中恒河豚、拉河豚和亚河豚均未发现小窝及味蕾,在白鳖豚的舌背上却找到了小窝并发现了味蕾。同时,该作者在仔细观察了亚河豚的舌后,也找到了“V”形排列的小窝。所以,另外两种淡水豚的舌是否确实不存在小窝也许还应作进一步的观察。

该研究还发现，白鳖豚幼体和亚成体都具有味蕾，但后者味蕾数量比前者少，在老年个体的舌上没有发现味蕾。说明白鳖豚的味蕾随年龄增长而逐步减少以致退化消失。这一情况与一些海豚相似。表明白鳖豚幼体可能依赖味觉辨别食物。随着年龄增大，味觉逐渐消失直至被其他感觉所取代。

在人工饲养条件下，我们发现白鳖豚有挑拣食物的行为。喜爱一种鱼，而不太愿吞食另一种鱼，且这种好恶还与个体有关系。有时喂给它不喜欢的鱼时甚至拒绝进食。而改换它喜爱的鱼又马上狼吞虎咽。当同时将这两种鱼丢入水中，它肯定是先吃掉喜欢吃的鱼。这一行为在身体不适时表现得尤其明显。我们不能排除这种选择性可能是基于不同鱼的质感和大小的不同以及以前养成的习惯，但也许也不能排除味觉在这种选择性中扮演了某种角色。

2．白鳖豚的触觉

对鲸类皮肤的解剖研究和对其触摸刺激响应行为的观察表明，鲸类可能具有发育良好、宽范围的触觉灵敏度(Herman and Tavolga，1980)。

周开亚和李悦民(1981)研究白鳖豚的皮肤时发现，白鳖豚皮肤的基本构造与一些海豚相似。具有下列特征：表皮特别厚，无颗粒层及透明层，其角质层细胞均具核，真皮相对较薄，细长的真皮乳头嵌入表皮，真皮内无毛囊及皮肤腺。其皮下层也与其他海豚相似，厚且充满脂肪细胞。特别是在白鳖豚的下颌前部、上颌吻端及鳍肢皮肤的网状层中，有具多层洋葱状同心结缔组织膜囊的感受器。Harrison 和 Thurley(1974)，Simpson 和 Gardner (1972)在海生的小型齿鲸中，也发现有此类感受器。有人认为，海豚皮肤中丰富的神经和触觉小体分布，可能具感觉紊流层中水波压力变化的作用，使皮肤作相应的调整以消除紊流(Agarkov *et al*.，1974；Palmer and Weddell，1964；Simpson and Gardner，1972)。同时这种感觉能力也许还能帮助发现在附近游动的其他同伴，并进而通过身体直接接触而进行触觉通讯。但白鳖豚皮肤中的感受器主要分布于上、下颌及鳍肢，故可能主要与触觉有关。

白鳖豚新生幼儿的上颌背面有左右不对称的 5 对白色短须。在 1 龄以上的个体短须脱落，而在原来短须的基部呈现 5 对白色斑点，在成年个体上这些白色斑点不太明显(陈佩薰等，1985)。在其他一些鲸类中也发现有这类短须，特别是一些淡水豚类短须可持续终生(Ling，1977；Tomilin，1967；Yablokov *et al*.，1972)。Layne 和 Caldwell(1964)假设亚河豚的短须可以帮助探测由吻在泥底里搅动出来的软体动物和其他食物。白鳖豚的短须在幼体身上的存在可能也具有一定的感觉作用。

在人工饲养条件下，我们发现白鳖豚对触摸是极为敏感的。用手触摸其吻端会引起极其强烈的反应。往置于担架上体检的白鳖豚身上洒水时其身子会很明显的发生激抖。白鳖豚还喜欢让水管或屋顶上滴下的水滴落在自己身上或口中。也喜欢用身子去摩擦水管，墙壁或水池中的其他物体。这在发情季节表现得尤其明显。甚至触摸可以作为训练的加强物之一。这些事实都表明，白鳖豚确实具有一定的触觉能力。

3．白鳖豚的视觉

一些研究表明，很多海豚具有良好的视力。但白鳖豚与这些海豚不同，终生生活于浑

浊的江水之中。Pilleri(1977)的研究表明，淡水豚所栖水域的浊度的增长及光的减弱，是促使其视觉器官退化的一个重要的生态因子。几种淡水豚从拉河豚到亚河豚再到恒河豚，可看到眼的逐个加深的退化，这些退化都由这几个种的生境的特殊生态条件所引起(周开亚等,1980)。

根据吴奇久等(1982)和李俊凤等(1984)对白鳖豚视觉通道的组织学的研究发现，白鳖豚视神经的结构与一些视觉较发达的哺乳动物视神经的结构是很相似的，也就是说，这些动物视神经的成分在白鳖豚视神经中都能找到。但是，数量分析揭示了白鳖豚的视神经与其他哺乳动物的差别。例如，白鳖豚的视神经纤维数比这些动物少得多，而和鱼类比较接近；视神经纤维轴突直径(d)(即不包括髓鞘)与整个纤维直径 D 的比值(由此可看出脉冲在纤维中的传导速度)d/D 为 0.60±0.02($P<0.05$)，这个数值比某些哺乳动物低，而和鱼类(d/D=0.67)非常接近。这说明白鳖豚视神经纤维的传导速度不如某些哺乳动物快。这些研究同时还发现，在白鳖豚视网膜上未见到视网膜视神经节细胞密度很高的中央区和视条纹，大小细胞在视网膜各区的分布基本上是一致的。同时，从视乳头到周边区血管非常明显，这样就会使光线进入感受器时受到较大的干扰。但是，总的说来，白鳖豚视网膜的结构与其他动物基本相似，也可分为明显的 10 层，而且与许多动物相比，其视神经节细胞的数量不算少。这些研究表明，白鳖豚的视觉与其他视觉发达的哺乳动物相比已有相当的退化，但是仍具有视觉功能。

4. 白鳖豚的听觉

听觉是齿鲸类最重要的感觉手段。研究表明，齿鲸类的外周和中枢声音产生和听力机制得到了高度的发展(Evans and Maderson, 1973; Jansen and Jansen, 1969; Kinne, 1975; Morgane and Jacobs, 1972; Norris, 1968; Popper, 1980)。鲸类声呐系统堪称自然界的奇迹，它对环境的适应性，抗干扰性以及它对目标的探测识别精度等都是现代人工声呐所望尘莫及的，因而揭示鲸类声呐系统的奥秘是当今仿生学研究最热门的课题之一。事实上，正如著名鲸类学家、鲸类声呐系统研究的奠基者之一 R. Busnel 教授在为第二届国际动物声呐系统会议论文集写的序言中所指出的那样：人们已开始应用动物声呐系统的原理及 70 年代刚刚发展起来的现代电子技术和系统理论设计尖端的声呐和雷达系统。人们从动物声呐系统的研究中已经得到并将继续得到巨大的受益(Busnel and Fish, 1980)。

由于白鳖豚生境的特殊性和视觉的退化，与海豚相比，白鳖豚的听觉对其自身而言就显得更为重要。其发达程度如何，成了目前国内外学者所广泛关注的一个问题。冯文慧和梁长林(1986)及 Feng 等(1989)通过对白鳖豚的螺旋神经节与前庭神经节的定量组织学、立体学研究及耳蜗基膜的研究发现，白鳖豚螺旋神经节为连续的索状结构，直径比较均匀，基膜为 1.5 圈，螺旋神经节细胞总数左右耳平均为 62 580 个，基膜长度为 30.7mm，即平均细胞密度为 2 038/mm。这个细胞总数为人的 2 倍，但仅为宽吻海豚的 2/3(Wever *et al.*, 1971)，且比江豚(*Neophocaena phocaenoides*)要少 10%。细胞密度也比后两者要低。这些结果表明白鳖豚耳蜗中的神经元成分比宽吻海豚和江豚要少。另外，白鳖豚耳蜗基膜的长度和宽度也不及宽吻海豚和江豚。而前庭神经节细胞数为3 092，亦低于江豚的前庭神经节细胞数(3 641)，但螺旋神经节细胞与前庭神经节细胞之比白鳖豚与江豚相

仿，两者分别为 20∶1 和 21∶1。这些研究结果表明，白鳘豚的听觉与前庭系统的发育程度比宽吻海豚甚至江豚要差，其听觉能力也可能是相对较差的（冯文慧等，1985；冯文慧和梁长林，1986；Feng *et al.*，1989）。

王丁等（1988）、肖友芙等（1993）以及 Wang 等（1992）从行为学的角度测量了白鳘豚的听觉能力。通过对于不同脉宽的纯音信号（20ms，100ms，500ms，5s）及调频信号的听阈曲线的测定，发现白鳘豚的听力频率范围极宽，从 1kHz 以下到 200kHz 以上。敏感频率范围为 16—64kHz，这与其自身发射的信号频率范围有着良好的对应关系。较为敏感的频率范围也基本上是其回声定位信号的能峰频率范围。这一点表明了白鳘豚的信号发射系统和接受系统具有良好的互适应性。同时，听阈阈值随着刺激信号的缩短而提高（图 3-23），这一点是理论上可以预期的当然结果。

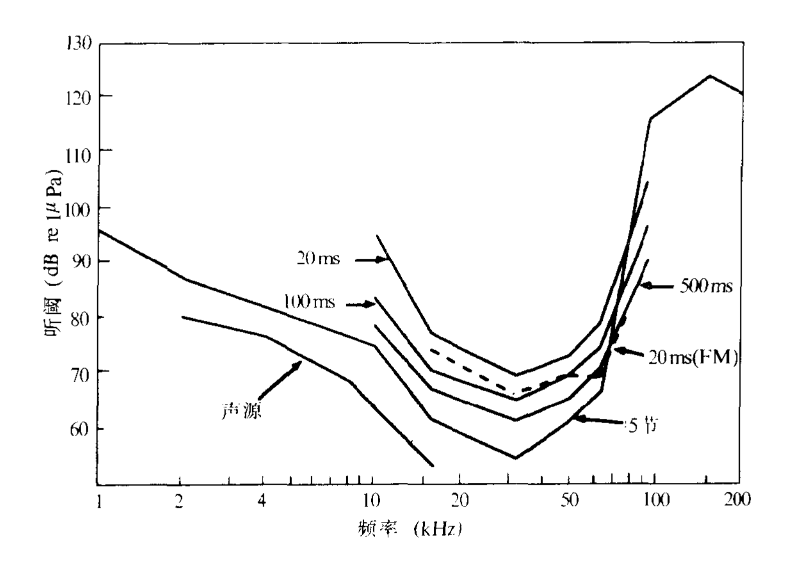


图 3-23　白鳘豚的听阈阈值曲线（引自 Wang *et al.*，1992）
Fig. 3-23　Auditory thresholds of a Chinese River dolphin, *Lipotes vexillifer*

上图是已测定的白鳘豚的听阈曲线。与已测定的其他一些鲸类如宽吻海豚、杀人鲸的听阈曲线相比，大体上是一致的（Andersen，1970；Hall and Johnson，1972；Herman and Arbeit，1972；Jacobs and Hall，1972；Johnson，1966，1968；Wang *et al.*，1992；Yunker and Herman，1974）。但有一点明显不同的是所得到的敏感频率范围的最低阈值比其他几种鲸类都要高 5—10dB 左右（刺激信号长度为 5 秒时）。这表明白鳘豚的听觉能力与一些海豚相比可能要差一些，这与冯文慧等对白鳘豚的听觉系统的形态学研究结果相符（冯文慧和梁长林，1986；Feng *et al.* 1989）。

从图 3-23 可以看出，在实验条件相同的情况下，白鳘豚对同一脉宽的调频刺激信号的响应阈值比对单频信号的响应阈值一般要低出 3dB，64kHz 时低出约 10dB，而且响应灵敏范围向高频端延伸。这与前面谈到的白鳘豚的回声定位信号的调频现象是相吻合的。即对调频信号有着较好的听觉能力。

总之，从形态解剖学和行为学的角度都可以说明，虽然白鳘豚的听觉能力可能不如某

些海豚，但仍是十分发达。这为白鳖豚在复杂的生活环境中利用发声去寻找食物，互相通讯，维持生存奠定了基础。

参 考 文 献

王丁，1985，豚类声呐系统研究的概况及其展望，淡水生物学科技情报，(3)：18。

王丁、王克雄、刘仁俊、谌刚、卢文祥，1988，白鳖豚听觉灵敏度的研究，华中理工大学学报，16(3)：55—60。

王丁、王克雄、刘仁俊、陈佩薰、谌刚、王治藩、卢文祥、杨叔子，1989a，白鳖豚声行为及听觉灵敏度的初步研究，湘潭大学自然科学学报，11(2)：116—121。

王丁、刘仁俊、陈佩薰、王治藩、卢文祥、杨叔子，1989b，白鳖豚的发声及其与环境适应的初步研究，水生生物学报，13(3)：210—217。

王丁、景荣才，1990，白鳖豚的声训练，水生生物学报，14(2)：138—144。

无线电工程系水声仿生课题组(南京工学院)，1980，生物透声窗——白鳖豚额隆声学特性测量，南京工学院学报，(2)：121—126。

冯文慧、梁长林、刘利军，1985，中国江豚的前庭神经节定量研究，科学通报，(24)：1900—1902。

冯文慧、梁长林，1986，白鳖豚和中国江豚的听觉系统——耳蜗基膜的研究，科学通报，(11)：862—864。

陈宜瑜，1979，白鳖豚脑的解剖，水生生物学集刊，6(4)：365—372。

陈佩薰、林克杰、刘仁俊，1980，白鳖豚上呼吸道的解剖和组织学的研究，水生生物学集刊，7(2)：131—137。

陈佩薰、林克杰、华元渝，1985，白鳖豚生物学特征的初步研究，水生生物学报，9(2)：176—185。

李悦民，1983，白鳖豚的舌，动物学报，29(1)：35—41。

李俊凤、吴奇久、肖悦梅，1984，白鳖豚视觉通道的组织学研究——视网膜，中国科学(B辑)，(2)：132—135。

吴奇久、李俊凤、肖悦梅，1982，白鳖豚视觉通道的组织学研究——视神经结构，纤维计数和纤维直径谱，中国科学(B辑)，(11)：1001—1005。

吴奇久、李俊凤，1984，江豚视神经和白鳖豚视神经的比较研究，动物学报，30(4)：31—336。

肖友芙、王丁、王克雄，1993，白鳖豚(*Lipotes vexillifer*)听阈值的进一步研究，海洋学报，15(1)：125—128。

周开亚、G. Pilleri、李悦民，1980，长江下游南京至太阳洲江段白鳖豚和江豚的观察，兼论白鳖豚对环境的某些生理适应，中国科学，(4)：363—369。

周开亚、李悦民，1981，白鳖豚的皮肤，海洋与湖沼，12(6)：566—572。

周佩芬译(格鲁勃柯夫，A.Г.著)，1984，海豚水声定位器，国防工业出版社。

荆显英、肖友芙、景荣才，1981，白鳖豚(*Lipotes vexillifer*)的声信号及声行为，中国科学，(2)：233—239。

荆显英、肖友芙、景荣才，1982，白鳖豚(*Lipotes vexillifer*)额隆的声功能，声学学报，7(1)：14—22。

荆显英、肖友芙、景荣才，1983，白鳖豚的回声定位信号，海洋学报，5(1)：11—18。

Adolfson, J. and Berghage, T., 1974, Perception and Performance Underwater, New York: Wiley.

Agarkov, G. B., Khomenko, B. G. and Khadzhinskiy, V. G., 1974, Morphology of Delphinidae, Moscow: Naukova-Dumka (Available JPRS 66036, 1975).

Andersen, S., 1970, Auditory sensitivity of the harbor porpoise *Phocoena phocoena*, In: Investigations on Cetacea, Vol. II (G. Pilleri, Ed), 255—259.

Ayrapetyants, E. Sn. and Konstantinov, A. I., 1974, Echolocation in nature, Arlington, Va: Joint Publication Research Service (JPRS 63326-1-2).

Békésy, G. von, 1960, Experiments in Hearing, New York: McGraw-Hil.

Bergeijk, W. A. Van, 1967, The evolution of vertebrate hearing, In: Contributions to Sensory Physiology, Vol. II (W. D. Neff. Ed.), 1—41, New York: Academic.

Brill, R. L., 1986, The jaw-hearing dolphin: preliminary behavioral and acoustical evidence, In: Animal Sonar: Processes and Performance, P. E. Nachtigall and P. W. B. Moore. (eds), New York: Plenum Press, 281—287.

Bullock, T. H., Grinnel, A. D., Ikezono, E., Kameda, K., Katsuki, Y., Nomoto, M., Sato, O., Suga, N. and Yanagisawa, K., 1968, Electrophysiological studies of the central auditory mechanisms in cetaceans, Z. Vergl. Physiol., 59, 117—156.

Busnel, R. G. and Fish (eds.), J. F., 1980, Animal Sonar Systems, Plenum Press, New York.

Chen Peixun and Wang Ding, 1988, The Chinese River Dolphin, *Lipotes vexillifer*. Endeavour, New Series, 12(4):176—178.

Diercks, K. J., Trochta, R. T. and Evans, W. E., 1971, Recording and analysis of dolphin echolocation signals, J. Acoust. Soc. Am., 49, 1729—1732.

Dormer, K. J., 1974, The mechanism of sound production and measurement of sound processing in delphinid cetaceans, Ph. D. thesis, university of California, Los Angeles.

Dormer, K. J., 1979, Mechanisms of sound production and air recycling in delphinids: cineradiographic evidence, J. Acoust. Soc. Am., 65, 229—239.

Dudok val Heel, W. H., 1962. Sound and Cetacea, Neth. J. Sea. Res., 1, 407—507.

Evans, W. E., 1973, Echolocation by marine delphinids and one species of freshwater dolphin, J. Acoust. Soc. Am., 54, 191—199.

Evans, W. E. and Maderson, P. F. A., 1973, Mechanisms of sound production in delphinid cetaceans: A review and some anatomical considerations, Am. Zool., 13, 1 205—1 213.

Evans, W. E. and Prescott, J. H., 1962, Observations of the sound production capabilities of the bottlenose porpoise: a study of whistles and clicks, Zoologica, 47, 121—128.

Feng Wenhui, Liang Changlin, Wang Jingzhu, Wang Xiuchun and Chen Peixun, 1989, Morphometric and stereoscopic studies of the spiral and vestibular ganglia of the baiji, *Lipotes vexillifer*, Occasional Papers of the IUCN Species Survival Commission (SSC), No. 3: 119—123.

Fleischer, G., 1973, On structure and function of the middle ear in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*), In: Proc. 9th Annu. Cofn. Biol. Sonar Diving Mammals, 137—139, Menlo Park, Calif.: Stanford Research Institute.

Fraser, F. C. and Purves, P. E., 1954, Hearing in cetaceans, Bull. Br. Mus. Nat. Hist., 2, 103—116.

Fraser, F. G. and Purves, P. E., 1960, Hearing in cetaceans, Bull Br. Mus. Nat. Hist., 7, 1—140.

Hall, D. H., and Johnson, C. S., 1972, Auditory thresholds of a killer whale *Orcinus orca* Linnaeus, J. Acoust. Soc. Am., 51, 515—517.

Harrison, R. J., and Thurley, K. W., 1974, Structure of the epidermis in *Tursiops*, *Delphinus*, *Orcinus* and *Phocoena*, In: Functional Anatomy of Marine Mammals (R. J. Harrison, Ed.), Acad. Press. London and New York, 2:45—71.

Herman, L. M. and Arbeit, W. R., 1972, Frequency difference limens in the bottlenose dolphin: 1—70 KC/S. J. And. Res., 2, 109—120.

Herman, L. M. and Tavolga, W. N., 1980, The communication systems of cetaceans, In: Cetacean Behavior: Mechanism and Functions (L. M. Hermar, Ed.), 149—210, John Wiley and Sons, Inc.

Hua Minglon, Zhou Kaiya, Qian Zhende, Wang Yuchu and Tang Tianxue, 1989, Ultrasonic attenuation and sound velocity in the melon of baiji, *Lipotes vexillifer*, Occasional Papers of the IUCN Species Survival Commission, (SSC), No. 3, 124—128.

Jacobs, D. W., and Hall. J. D., 1972, Auditory threshold of a fresh water dolphin, *Inia geoffrensis* Blainville, J. Acoust. Soc. Am., 51, 530—533.

Jansen, J. and Jansen, J. K. S., 1969, The nervous system of Cetacea, In: The Biology of Marine Mammals (H. T. Andersen, Ed.), 176—252. New York: Academic.

Johnson, C. S., 1966, Auditory thresholds of the bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus* Montage), U. S. Naval Ordinance Test Station NOTSTP 4 178, 25.

Johnson, C. S., 1968, Masked tonal thresholds in the bottlenosed porpoise. J. Acoust. Soc. Am., 44, 965—967.

Kinne, O., 1975, Orientation in space: animals: mammals, In: Marine Ecology, Vol. Ⅱ (O. Kinne, Ed.), 702—852, London: Wiley.

Lagne, J. N. and Caldwell, D. K., 1964, Behavior of the Amazon dolphin, *Inia geoffrensis* Blainville, in captivity, Zoologica, 49. 81—108.

Lilly, J. C., 1962, Vocal behavior of the bottlenose dolphin, Proc. Am. Philos. Soc., 106, 520—529.

Ling, J. K., 1977, Vibrissae of marine mammals. In: Functional Anatomy of Marine Mammals, Vol. 3 (R. J. Harrison, Ed.), 387—415, New York: Academic.

Liu Renjun and Wang Ding, 1989, The behavior of the baiji, *Lipotes vexillifer*, in captivity, Occasional Papers of the IUCN Species Survival Commission (SSC), No. 3, 141—145.

McCormick, J. G., Wever, E. G., Palin, J. and Ridgway, S. H., 1970, Sound conduction in the dolphin ear, J. Acoust. Soc. Am., 48, 1418—1428.

Morgane, P. J. and Jacob's, M. S., 1972, Comparative anatomy of the cetacean nervous system, In: Functional Anatomy of Marine Mammals, Vol. I(R. J. Harrison, Ed.), 117—244, New York: Academic.

Norris, K. S., 1964, Some problems of echolocation in Cetaceans, In: Marine Bio-Acoustics (W. N. Tavolgy, Ed.), 317—336, New York: Pergamon.

Norris. K. S., 1968, The evolution of acoustic mechanisms in odontocete cetaceans, In: Evolution and Environment (E. T. Drake, Ed.), 297—324, New Haven: Yale Univ. Press.

Norris, K. S., 1969, The echolocation of marine mammals, In: The Biology of Marine Mammals (H. T. Anderson, Ed.), 391—423, New York: Academic.

Norris, K. S., Dormer, K. J., Pegg, J. and Liese, G. J., 1971, The mechanisms of sound production and air recycling in porpoises: a preliminary report, In: Porch. 8th Ann Con. Biol. Sonar Diving Mammals. Men Park, Caliph: Stanford Research Institute, 113—129.

Norris, K. S. and Harvey, G. W., 1974, Sound transmission in the porpoise head, J. Acoust. Soc. Am., 56, 659—664.

Palmer, E. and Weddell, G., 1964, The relationship between structure, innovation and function of the skin of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatns*), Proc. Zool. Soc. Lond., 143, 553—568.

Pilleri, G., 1977, The eye of *Pontoporia blainvillei* and *Inia boliviensis* and remarks on the problem of regressive evolution of the eye in Platanistoidea, In: Investigation on Cetacea, Vol. 8 (G. Pilleri, Ed.), 149—160.

Popper, A. N., 1980, Sound emission and detection by delphinids, In: Cetacean Behavior: Mechanisms and Functions (L. M. Herman, Ed.), 1—52, John Wiley and Sons, Inc.

Purves, P. E., 1966, Anatomy and Physiology of the out and middle ear in cetaceans, In: Whales, Dolphins, and Porpoises (K. S. Norris, Ed.), 321—376, Los Angeles: University of California Press.

Purves, P. E., 1967, Anatomical and experimental observation on the cetacean sonar system, In: Animal Sonar Systems: Biology and Bionics (R.-G. Busnel. Ed.), 197—270, Jouy-en-Josas, France: Laboratoire de Physiologie Acoustigue.

Purves, P. E. and Pilleri, G. E., 1983, Echolocation in Whales and Dolphins, Academic Press, London.

Purves, P. E. and van Utrecht, W. L., 1963, The anatomy and function of the ear of the bottlenosed dolphin, *Tursiops truncatus*, Beaufortia, 9, 241—256.

Reysenbach de Hann, F. W., 1957, Hearing in whales, Acta Oto-Largngol, Suppl, 134, 1—114.

Ridgway, S. H., Carder, D. A., Green, R. F., Gaunt, A. S., Gaunt, S. L. L., and Evans, W. E., 1980, Electromyographic and pressure events in the nasolaryngeal system of dolphins during sound production, In: Animal Sonar Systems (R.-G. Busnel and J. F. Fish, Ed.), 239—249, New York and London: Plenum.

Simpson, J. G. and Gardner, M. B., 1972, Comparative microscopic anatomy of selected marine mammals, In: Mammals of the Sea, Biology and Medicine (S. H. Ridgway, Ed.), C. C. Thomas Publisher, Springfiedl, 298—418.

Thompson, R. K. R. and Herman, L. M., 1975, Underwater frequency discrimination in the bottlenosed dolphin (1—140kHz) and human (1—8kHz), J. Acust. Soc. Am., 57, 943—948.

Tomilin, A. G., 1967, Cetacea. In: Mammals of the USSR and Adjacent Countries. Vol. 9. Jerusale Israel Program for Scientific Translations.

Wang Ding , 1993, Dolphin Whistles: Comparisons between Populations and Species, Ph. D. Dissertation, Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences and Texas A and M University, USA.

Wang Ding, Lu Wenxiang and Wang Zhifan, 1989a, A preliminary study of the acoustic behavior of *Lipotes vexillifer*, Occasional Papers of the IUCN Species Survival Commission (SSC), No. 3, 137—140.

Wang Ding , Wang Kexiong, Liu Renjun, Chen Peixun, Sheng Gang, Lu Wenxiang and Yang Shuzi, 1989b, A preliminary study on safety of acoustics environment of *Lipotes vexillifer*. International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, (ISMTII 89) Wuhan, P. R. C.

Wang Ding, Wang Kexiong, Xiao Youfu and Sheng Gang, 1992, Auditory sensitivity of a Chinese River dolphin, *Lipotes vexillifer*, In: Marine Mammal Sensory Systems (Jeanette Thomas, Ronald Kastelein, and Alexan Supin, EDS.), Plenum Press, New York, 213—221.

Wever, E. G., 1974, The evolution of vertebrate hearing, In: Contributions to Sensory Physiology, Vol. V (W. D. Kiedel and W. D. Neff, Eds.), 423—454, Berlin: Springer-Verlage.

Wever, E. G., McCormick, J. G., Palin, J. and Ridgway, S. H., 1971, The cochlea of the dolphin *Tursiops truncatus*: hair cells and ganglion cells, Proc. Natl. Acad. Sci., 68, 2 908—2 912.

Xiao Youfu and Jing Rongcai, 1989, Underwater acoustic signals of the baiji, *Lipotes vexillifer* Occasional Papers of the IUCN Species Survival Commission, (SSC), No. 3, 129—136.

Yablokov, A. V., Bel'kovich, V. M. and Borisov, V. I., 1972, Whales and Dolphins, Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations.

Yunker, M. P. and Herman, L. M. 1974, Discrimination of auditory temporal differences in the bottlenosed dolphin and by the human, J. Acoust. Soc. Am., 56, 1 870—1 875.

第四章　白鳘豚的细胞遗传学、心电图、血液学及生理与生物化学

一、细胞遗传学

越来越多的研究表明,物种在进化过程中所发生的遗传物质的改变,常表现为携带遗传信息的染色体结构的变化。这种变化无疑在物种形成过程中起着重要作用。染色体的带型及基因组结构不但在很大程度上具有特异性,而且反映了物种的分化和形成过程,亲缘关系远近及演化途径。随着细胞遗传学的发展及有关实验技术的不断改进和创新,将使人们愈来愈深入地揭示染色体携带的各种信息,为探讨鲸类的遗传演化提供新的科学依据。

人们用细胞遗传学技术对陆生哺乳动物的遗传变异、系统发育以及分类进化进行了多年的研究,把这种技术应用于水生哺乳动物,从而形成了以水生哺乳类为研究对象的细胞遗传学,虽然它是一个新兴的领域,但在理论上和应用上有着广阔的前景。

水生哺乳动物的细胞遗传学研究由于取材等方面的原因,因而开始较晚。1964 年 Snyder 和 Hungerford 发现加州海狮(*Zalophus californianus*)有 36 条染色体,同年 Corfman 和 Richart 发现环斑海豹(*Pusa hispida*)染色体数目为 32,Fay 等(1967)描述了 6 种鳍脚目的核型:斑海豹(*Phoca vitulina*)2n = 32,髯海豹(*Erignathus barbatus*)2n = 34,威德尔海豹(*Leptonychoets weddlli*)2n = 34,海象(*Odobenus rosmarus*)2n = 32,水海狮(*Eumetopias jubatus*)2n = 36 和海狗(*Callorhinus ursinus*)2n = 36。Arnason(1969, 1972)基于鳍脚目 12 种 40 个个体的带型研究认为:在 34 条染色体的鳍脚目中,有 2 对染色体分别融合,从而形成 32 条染色体的核型。

报道鲸目动物核型最早的是 Makino(1948),他研究了白胸拟鼠海豚(*Phocoenoides dalli*),其染色体数为 2n = 44,包括 1 对性染色体。Walen 和 Madin(1965)首次以组织培养的材料研究鲸类染色体,他们描述了齿鲸亚目中宽吻海豚和北太平洋领航鲸(*Globicephala scammoni*)的核型,两种染色体数均为 2n = 44,且核型十分相近。Arnason(1969)用组织培养方法得出须鲸亚目(Mystacoceti)中长须鲸(*Balaenoptera physalus*)的核型,认为其染色体数也为 2n = 44。在所有染色体数为 2n = 44 的鲸类中,虎鲸(*Orcinus orca*)的核型比较特殊,它的中着丝粒 m(metacentric),亚中着丝粒 sm(submetacentric)和亚端着丝粒 st(subtelocentric)组染色体的排列虽然与原海豚(*Stenella*)和宽吻海豚的核型组排列相一致,但却不像其他鲸类,在端着丝粒 t(telocentric)组中有 4 对 t 染色体,它的 4 对 t 组染色体较特殊(臂比小于 7),而且臂比的变化较大;虎鲸有 2 对染色体具有染色体附着(chromosome attachment),一对是 sm9,另一对是 t4,而其他鲸类仅发现有 1 对。鲸目中还有一种核型,其染色体数为 2n = 42,目前仅在齿鲸亚目中的剑吻鲸科(Ziphiidae)和抹香鲸科(Physeteridae),以及须鲸亚目的露脊鲸科(Balaenidae)中的少数鲸类中发现有这种核型。它们与一般的鲸类核型明显不同,Jarrell(1979)认为这两种核型是由于罗伯逊易

位造成的。Arnason(1977)的研究表明,剑吻鲸科的核型似乎显示某些与 2n = 44 核型的相似处,但抹香鲸科却看不出与 2n = 44 核型的相似处。人们试图用 G-显带方式探讨灰鲸科(Zschrichtiidue)2n = 44 与抹香鲸科 2n = 42 的关系,但结果不理想(陈帆等,研究生毕业论文)。

表 4-1 鲸类染色体数(引自陈帆研究生毕业论文)

Table 4-1 Chromosome number in cetaceans

亚 目	种	♀	♂	2n	m	sm	st	t
须鲸亚目	须鲸科(Balaenopterride)							
(Mysticeti)	蓝鲸(*Balaenoptera musculus*)			44	7 +	7 +	3 +	4
					x +	0 +	0 +	0
	小须鲸(*Balaenoptera acutorostrata*)	+	+	44				
	大须鲸(*Balaenoptera borealis*)	+	+	44				
	长须鲸(*Balaenoptera physalus*)	+	+	44				
	露脊鲸科(Balaenidae)			44				
	北极露脊鲸(*Balaena mysticetus*)			44				
	灰鲸科(Eschrichtiidue)							
	灰鲸(*Eschrichtiidus robustus*)	+		44	9 +	5 +	3 +	4
					x +	0 +	0 +	0
齿鲸亚目	抹香鲸科(Physeteridae)							
(Dontoceti)	抹香鲸(*Physeter catodon*)	+		42	10 +	9 +	1 +	0
					x +	0 +	0 +	0
	小抹香鲸(*Kogia breviceps*)	+	+	42	9 +	8 +	3 +	0
					x,y +	0 +	0 +	0
	剑吻鲸科(Ziphiidae)							
	剑吻鲸(*Ziphius cavirostris*)			42				
	美洲喙鲸(*Nesoplodon europaeus*)			42				
	一角鲸科(Delphinapteridae)							
	一角鲸(*Monodom monoceros*)	+	44					
	淡水豚科(Platanistidae)							
	白鳖豚(*Lipotes vexillifer*)	+	+	44	6 +	9 +	2 +	4
					x +	0 +	0 +	y
	亚河豚(*Inia geoffrensis*)	+		44				
	鼠海豚科(Phocoenidae)							
	江豚(*Neophocaena phocaenoides*)	+	+	44	5 +	9 +	2 +	5
					x +	0 +	0 +	y
	鼠海豚(*Phocoena phocoena*)	+	+	44	6 +	7 +	4 +	4
					x +	0 +	0 +	y
	白胸拟海豚(*Phocoenoides dallii*)	+	+	44				
	领航鲸科(Globicephalidae)							
	大吻领航鲸(*Globicephala macrorhynchus*)	+		44	6 +	8 +	3 +	4
					0 +	x +	0 +	0
	虎鲸(*Orcinus orca*)	+	+	44				
	海豚科(Delphinidae)							
	真海豚(*Delphinus delphis*)	+	+	44	7 +	8 +	2 +	4
					x +	0 +	0 +	y
	斑纹海豚(*Lagenorhynchus obliquidens*)	+	+	44				
	宽吻海豚(*Tursiops truncatus*)	+	+	44				
	北太宽吻海豚(*Tursiops gilli*)	+		44	6 +	9 +	2 +	4
					x +	0 +	0 +	0
	斑原海豚(*Stenella dubia*)	+		44	6 +	9 +	2 +	4
					x +	0 +	0 +	y

鲸目共有三个亚目：古鲸亚目(Archaceti)、须鲸亚目和齿鲸亚目。除古鲸亚目以外，已研究过的鲸类两个亚目的染色体数见表4-1。

从表4-1可看出，鲸类细胞遗传学已经研究了两个亚目不同科的种类。一般鲸类核型为4对7组，st和sm的染色体较大，m组染色体相对小一些，m组最大的常染色体约占雌性单倍体总长的5%。sm组中最小的同源染体其短臂常常彼此相连，研究表明它们参与了核仁的形成，7组染色体的附着(attachment)也有所发现。

为了更好地阐明须鲸亚目与齿鲸亚目核型的关系，人们运用了放射自显影和显带技术。Arnason在1972年将斑原海豚的C-带、G-带核型排出。1974年又报道了北太平洋宽吻海豚的C-带、G-带，并将它们做了比较，认为它们的带型有很大的相似之处，其中北太平洋宽吻海豚的X染色体属于m组中最大的一个，而斑原海豚也是如此。Madin和Walen通过放射自显影技术，证明了大吻须鲸的X染色体是属于sm组染色体，而且比海豚科其他种的sm组染色体都大一些。C-带研究表明，它的C-异染色质相对少一些，在一个被测量的细胞中，C-异染色质约占10%左右，Arnason等(1973)通过G-带技术得到抹香鲸的清晰的核型和准确的个体配对。U. Arnason和R. Lutley对6头虎鲸的染色体C-带和G-带进行了比较研究，首次发现C-带的多态现象，而且虎鲸的G-带与斑原海豚十分相似，提出虎鲸的核型要比其他海豚科的核型进化。Arnason(1981)又将灰鲸与抹香鲸的带型进行了比较，同时与其他鲸类也进行了比较，发现其带型与小须鲸的G-带十分相似。随后，Arnason比较了7种鲸类的C-带，其中4种属于齿鲸亚目，3种属于须鲸亚目。4种齿鲸亚目的C-异染色质占一个细胞中异染色质总量的百分比从10%—15%不等，在3种须鲸亚目的鲸类中C-异染色质分布从25%—30%。C-异染色质主要分布在臂上和臂端且比较少扩展到着丝点。在所研究的鲸类中，一般C-异染色质严格分布于sm和st组染色体臂上。异染色质于t组端部的仅有大须鲸一种，且在其中两对t组染色体上均有异染色质分布。在m组中C-异染色质主要出现在长臂上。

Arnason(1981)比较了7种鲸类的NORs，其中4种齿鲸亚目，3种须鲸亚目。齿鲸亚目有白喙斑纹海豚、虎鲸、美洲喙鲸和抹香鲸；须鲸亚目有长须鲸、灰鲸和小须鲸。在染色体数为2n=44的鲸类中，一般仅有1对银染位点，位于最小的一对染色体上，染色体数为2n=42的鲸类有2对银染位点，一对较小的与染色体数为2n=42的鲸类相似，另一对银染位点一般位于t组端部。有个例外，染色体数为2n=44的虎鲸有两个银染位点，其中较小的一对与染色体数为2n=44的鲸类相同。

我国长江生活着2种鲸类，即白鳖豚和江豚。关于鲸类细胞遗传学方面的工作我国起步较晚，彭先步等(1985)研究了江豚的染色体数为2n=44。张锡然等(1989)做了江豚的分带核型，C-带研究表明江豚存在多态性，G-带结果不理想。

Arnason(1969, 1972)基于齿鲸亚目与须鲸亚目染色体核型的相似性，提出了鲸类单源起源的理论(a monophyletic origin theory)。Slijper(1936)则认为须鲸亚目和齿鲸亚目是二源起源(diphyletic origin)，他认为须鲸很早就从古鲸亚目谱系中分离。而Van Valen则赞同从古鲸亚目的单源进化。Yablokov虽然没有明确表示认同，但他却说从古生物学和解剖学的发现而言，并未与二源起源理论发生矛盾。Kulu(1971)认为两个现代鲸类亚目核型的相似支持了单源起源说。随着生物形态学证据的积累以及随后染色体显带工作的深入，特别是C-异染色质分布的一致性，有力地支持了单源起源理论。随着生物技术

的发展,人们可以找到更多的证据来阐明各自的观点。

中国科学院水生生物研究所的科学工作者对白鱀豚的细胞遗传学做了许多工作,其中陈敏容等(1986)研究了白鱀豚的核型,陈敏容(1996)研究了白鱀豚的 C-带,陈帆等在攻读研究生期间研究了白鱀豚和江豚染色体带型和白鱀豚 DNA 的碱基组成。

陈敏容(1986)等用白鱀豚"淇淇"的外周血,按常规方法研究了它的核型。他们根据白鱀豚染色体的臂按 Laven 命名法分为以下 4 组: m 组[具中着丝点染色体(metacentric)], $r=1.00—1.67$;sm 组[具亚中着丝点染色体(submetacentric)], $r=1.67—3.00$;st 组[具亚端着丝点染色体(subtelocentric)], $r=3.00—7.00$;t 组[具端着丝点染色体(telocentric)], $r=7.00—\infty$。所得 8 个分裂相为 2n=44,占计数细胞总数的 88.89%(图 4-1)。

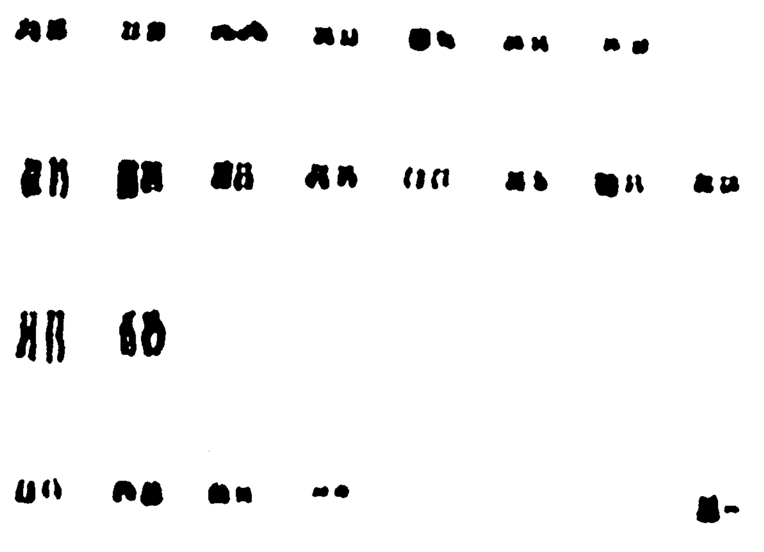


图 4-1 白鱀豚染色体核型图

Fig. 4-1 Karyotype of *Lipotes vexillifer*

白鱀豚核型的组成是: 7 对中着丝点染色体(m 组)、8 对亚中着丝点染色体(sm 组)、2 对亚端着丝点染色体(st 组)和 4 对端着丝点染色体(t 组)、1 对性染色体(表 4-2)。雌性单倍染色体总长是 99.79 μm。现将各组的特征分别简述如下:

m 组: 由 7 对常染色体组成,染色体普遍较小,相对长度在 4.02%—2.59% 之间。仅 m_1 和 m_2 较易识别,其余 5 对相差甚微,臂比接近,用常规染色方法很难正确配对。sm 组: 由 8 对常染色体组成,大多数染色体对的绝对长度较长,其中 sm_1 的平均绝对长度是 7.34 μm,占雌性单倍体总长的 7.35%,是该核型的第三对大染色体。最小的一对亚中着丝点染色体是 sm_8,它的相对长度只有 3.50%。

st 组: 由 2 对常染色体组成,是该核型中最大的 2 对染色体。其中 st_1 的平均绝对长度是 10.16 μm,占雌性单倍体总长度的 10.22%。st_2 的平均绝对长度是 9.07 μm,占雌性单倍体总长的 9.12%。这组染色体很容易识别。

t 组: 由 4 对常染色体组成。它们的主要特点是短臂不明显,很难测出其短臂的大小。t_4 是这个核型中最小的一对常染色体,它的平均绝对长度只有 1.74 μm,占雌性单倍体总长的 1.73%。

表 4-2　白鱀豚染色体的测量数据(引自陈敏容等，1986)

Table 4-2　Chromosome measurement of *Lipotes vexillifer*

染色体 Chromosome	绝对长度 Absolute length		相对长度 Relative length		臂比 Arm ratio	
	平均(μm) Mean	幅度 Range	平均(μm) Mean	标准误 Standard error	平均(μm) Mean	标准误 Standard error
x	4.77	4.13—5.40	47.61	1.34	1.26	0.05
M_1	4.10	3.60—4.60	41.02	0.69	1.49	0.02
M_2	3.74	3.40—4.07	37.50	0.78	1.20	0.07
M_3	3.40	3.00—3.80	34.03	0.42	1.29	0.21
M_4	3.29	2.93—3.64	32.92	0.10	1.44	0.04
M_5	3.14	2.87—3.40	31.49	0.66	1.19	0.06
M_6	2.80	2.33—3.27	27.87	1.77	1.45	0.09
M_7	2.59	2.27—2.91	25.91	0.47	1.23	0.05
SM_1	7.34	6.51—8.17	73.50	0.56	2.82	0.02
SM_2	7.00	6.40—7.60	70.30	1.40	2.44	0.21
SM_3	5.79	5.20—6.37	58.01	0.41	2.35	0.20
SM_4	4.54	4.11—4.97	45.55	0.49	1.92	0.17
SM_5	4.22	3.73—4.71	42.25	0.45	2.22	0.10
SM_6	4.03	3.73—4.33	40.52	1.27	2.12	0.31
SM_7	3.84	3.40—4.27	38.40	0.31	1.94	0.10
SM_8	3.49	3.20—3.77	35.02	0.83	1.80	0.23
ST_1	10.16	9.47—10.84	102.18	3.90	3.66	0.07
ST_2	9.07	8.40—9.73	91.16	2.95	3.52	0.16
T_1	4.13	3.73—4.53	41.43	0.35	∞	
T_2	3.74	3.07—4.40	37.10	2.75	∞	
T_3	2.92	2.31—3.53	28.94	3.06	∞	
T_4	1.74	1.47—2.00	17.30	0.83	∞	
Y	1.27	1.07—1.47	12.66	0.68	∞	

性染色体对：X染色体是属于m组中最长的一条染色体。它的平均绝对长度是4.77 μm，占雌性单倍体总长的4.76%。Y染色体属于t组最小的一条染色体，它的平均绝对长度为1.29 μm，占雌性单倍体总长的1.29%。

以上结果与Arnason的研究结果基本吻合(表4-3)，根据他们的研究，5种齿鲸类的染色体数均为2n=44。4对t组染色体，最大的染色体在sm和st组，所有的m组染色体都是比较小的。m、sm、st组的染色体数在各个种类之间有轻微的变动。X染色体的大小是雌性单倍体的0.5%左右，属于m组或sm组。大多数核型的Y染色体都是t组最小的染色体。这些结果的一致性是否可以视为齿鲸亚目的共同特征。4对t组染色体无明显的短臂，是白鱀豚与其他5种鲸类核型之间唯一的不同点。

陈敏容等近年来进一步研究了白鱀豚的核型及其C-带核型，其核型的研究结果与他们以前的结果基本一致，C-带核型分别描述如下：

C-带异染色质呈现很深的着色区，主要分布在染色体的臂上，着丝点区几乎没有。

m组：这一组的C-带不明显，其中m_1长臂，m_3长臂，m_4短臂，m_5长臂等C-带隐约可见，染色模糊，无法计算出它的量。

sm组：sm_1长臂，sm_2长臂C-带明显，其他染色体的C-带染色模糊，如sm_1短臂，sm_2短臂，sm_5，sm_6等染色体的长臂均有很淡的着色区。

表 4-3　6 种鲸类核型分析结果的比较(引自陈敏容等,1986)

Table 4-3　Comparison of the karyotypes of 6 cetacean species

种类 Species	二倍体数 2n	常染色体 Antosome				性染色体 sex chromosome				作者 Author
		m	sm	st	t	m	sm	st	t	
斑原海豚 *Stenella dubia*	44	7	8	2	4	X	—	—	Y	Arnason
北太宽吻海豚 *Tursiops gilli*	44	6	9	2	4	X	—	—	—	Arnason
真海豚 *Delphinus delphis*	44	6	9	2	4	X	—	—	Y	Arnason
大吻领航鲸 *Globicephala macrorhyncha*	44	6	8	3	4	—	X	—	—	Arnason
鼠海豚 *Phocoena phocoena*	44	6	7	4	4	X	—	—	Y	Arnason
白鱀豚 *Lipotes vexillifer*	44	7	8	2	4	X	—	—	Y	陈敏容

st 组：这一组的两对大染色体不仅在长臂上有很深的着色区,而且短臂的着色也不浅。st_1 同源染色体的短臂上的 C-带有明显的大小异态现象。

t 组：t 组 C-带染色不明显。t_1 和 t_2,C-带尚隐约可见,而 t_3 和 t_4 则完全没有。

性染色体：X 和 Y 均没有明显的 C-带。

在一个细胞中 C-带异染色质的量约占总染色体的 12%左右,除 sm_1 和 st_1 同源染色体短臂上的 C-带异染色质有明显的大小异态外,sm_5 长臂、t_1 等同源染色体中均有 C-带异染色质大小异态现象存在。这种 C-带异染色质区的大小异态现象在鲸类的染色体带型研究中是经常出现的。

从上述结果可以看到,白鱀豚的 C-带核型也具有一般齿鲸类 C-带核型的共同特点：C-带异染色质区段存在于染色体臂的中间或短臂的末端,而着丝点区则很少,有的几乎没有。在两个同源染色体之间常常显示出 C-带异染色质的异态现象。同时有几对染色体臂间 C-带异染色质区段特大,以至于在常规染色的片子中也能看到它的存在。C-带异染色质的量估计为总染色质的 12%。

陈帆等研究了白鱀豚和江豚染色体的带型和白鱀豚 DNA 的碱基组成(研究生毕业论文),其主要研究结果如下：

1. 核型

白鱀豚的核型为 2n=44, XY(♂：13m+18sm+4st+9t)。此结果与陈敏容的研究结果基本一致,因为陈帆等把陈敏容等列入 sm 组的一对染色体归入 m 组。

江豚的核型为 2n=44, XY(♂：11m+20sm+4st+9t)。

2. 银染

白鱀豚 2n=44,由 21 对常染色体和 1 对性染色体组成。其核型组成为 12m+18sm

+ 4st + 8t + XY。间期核中银染核仁只见到 1 个。中期分裂相中也只有 1 对 Ag-NORs。银染位点不存在数量上的多态现象，但存在有一大一小的结构多态现象。中期分裂相中银染 Ag-NORs 位于 No. 15，即 st_9 上，这对染色体是最小的一对染色体，常发现有联合(association)现象，其短臂相互附着。江豚中也见到联合现象(图版 XXⅧ，c)。

3. 白鱀豚、江豚的 G-带核型

(1) 白鱀豚 G-显带结果　观察了白鱀豚淇淇 5 个较好的中期分裂相，排出了 G-带核型(图版 XXⅨ，a、c)，每对染色体 G-带带型如表 4-4。江豚的 G-带带型如表 4-5。

表 4-4　白鱀豚 G-显带(引自陈帆研究生毕业论文)

Table 4-4　G-banded karyotype of *Lipotes vexillifer*

染色体对数顺序号 No. of chromosome	臂 Arm	带　型 Banded karyotype
1	p	近着丝粒有 1 条深染带，端部有 1 条浅染带
m_1	q	端部与近着丝粒部各有 1 条深染带纹，中间有 1 条浅染带
2	p	端部有 1 条深染带，近着丝粒有 1 条浅染带
m_2	q	端部有一深染带，着丝粒有 1 条深染带，中间有 1 条浅染带
3	p	端部与着丝粒各有 1 条深染带，中间有 1 条浅染带
m_3	q	端部有一深染带，着丝粒有 1 条深染带，中间有 1 条浅染带
4	p	端部有一深染带
m_4	q	近着丝粒有一浅染带，着丝粒及端部各有一深染带
5	p	端部有一深染带
m_5	q	近端部与近着丝粒各有一浅染带，端部与中部各有一深染带
6	p	有一深染带
m_6	q	近着丝粒有一深染带，端部有一浅染带
7	p	端部与近着丝粒各有一浅染带，中部有一深染带
sm_1	q	近着丝粒有一深染带，另有 4 条深染带，4 条浅染带
8	p	近着丝粒，端部各有 1 条深染带，中间有一浅染带
sm_2	q	共有 6 条深染带，5 条浅染带
9	p	近着丝粒有 1 条深染带，端部有一浅染带
sm_3	q	近着丝粒、端部及中部各有一浅染带，另有 2 条深染带
10	p	端部有一深染带，近着丝粒有一浅染带
sm_4	q	共有 3 条深染带，2 条浅染带
11	p	端部有一深染带，近着丝粒有一浅染带
sm_5	q	着丝粒、端部及中部各有一深染带，中间夹有 2 条浅染带
12	p	端部有一深染带
sm_6	q	端部有一深染带，近着丝粒有一浅染带
13	p	端部有一深染带，近着丝粒有一浅染带
sm_7	q	共有 2 条深染带，1 条浅染带
14	p	端部有一浅染带，近着丝粒有一深染带
sm_8	q	着丝粒和端部各有一深染带，中部有一浅染带
15	p	
sm_9	q	有 2 条深染带，中间有 1 条浅染带
16	p	端部与近着丝粒各一深染带，有 1 条染色体呈现异态现象，其浅染带
st_1	q	中间又多 1 条深染带共有 6 条深染带，5 条浅染带
17	p	端部与近着丝粒各有一深染带，中间有 1 条浅染带
st_2	q	共有 8 条深染带，7 条浅染带

(续表 4-4)

染色体对数顺序号 No. of chromosome	臂 Arm	带型 Banded karyotype
18 t_1	p q	 着丝粒有一深染带,长臂上有4条深染带,4条浅染带
19 t_2	p q	 近着丝粒有一深染带,还有2条深染带,2条浅染带
20 t_3	p q	 共4条深染带,3条浅染带
21 t_4	p q	 共有3条深染带,2条浅染带
X	p q	端部有一深染带,近着丝粒有1条浅染带 共有3条深染带,3条浅染带
Y	p q	 近着丝粒有一浅染带,端部有一深染带

表 4-5 江豚 G-显带(引自陈帆研究生毕业论文)

Table 4-5 G-banded karyotype of *Neophocaena phocaenoides*

染色体对数顺序号 No. of chromosome	臂 Arm	带型 Banded karyotype
1 m_1	p q	近着丝粒处有1条深染带,端部有1条浅染带 端部及中部各有1条深染带,近着丝粒及近端部各有一浅染带
2 m_2	p q	端部有1条深染带,近着丝粒有1条浅染带 着丝粒有1条深染带,端部有1条深染带,中部有一浅染带
3 m_3	p q	端部有1条浅染带 着丝粒有一深染带,端部有一深染带,近着丝粒有一浅染带
4 m_4	p q	近着丝粒有一深染带 近着丝粒有一深染带,端部有一浅染带
5 m_5	p q	有一深染带 端部及近着丝粒各有一深染带,中间有一浅染带
6 sm_1	p q	端部有1条深染带,近着丝粒有1条浅染带 着丝粒有一深染带,长臂上有4条深染带,4条浅染带
7 sm_2	p q	端部有一深染带,近着丝粒有一浅染带 共有3条深染带,2条浅染带
8 sm_3	p q	近着丝粒有一深染带,端部有1条浅染带 共有3条深染带,2条浅染带
9 sm_4	p q	近着丝粒有1条深染带,端部有一浅染带 近着丝粒端部及中部各有1条深染带,中间有2条浅染带
10 sm_5	p q	近着丝粒有1条深染带,端部有一浅染带 近着丝粒及端部各有1条深染带,中间有一浅染带
11 sm_6	p q	端部有一深染带,近着丝粒有一浅染带 近着丝粒及端部各有1条深染带,中间有一浅染带
12 sm_7	p q	端部有一深染带,近着丝粒有一浅染带 近着丝粒及端部各有1条深染带,中间有一浅染带
13 sm_8	p q	端部有一深染带,近着丝粒有一浅染带 近着丝粒及端部各有1条深染带,中间有一浅染带
14 sm_9	p q	近着丝粒有一深染带 近着丝粒及端部各有1条深染带,中间有一浅染带

(续表 4-5)

染色体对数顺序号 No. of chromosome	臂 Arm	带　型 Banded karyotype
15	p	
sm_{10}	q	共有 2 条深染带,1 条浅染带
16	p	近着丝粒有一深染带,端部有一浅染带
st_1	q	共有 4 条深染带,4 条浅染带
17	p	近着丝粒及端部各有 1 条深染带,中间有一浅染带
st_2	q	共有 5 条深染带,4 条浅染带
18	p	
t_1	q	共有 6 条深染带,6 条浅染带
19	p	
t_2	q	着丝粒有 1 条带,另外还有 3 条深染带,3 条浅染带
20	p	
t_3	q	共有 4 条深染带,3 条浅染带
21	p	
t_4	q	共有 3 条深染带,3 条浅染带
X	p	端部及近着丝粒各有一深染带,中间有 1 条浅染带
	q	端部及着丝粒各有一深染带,中间有一浅染带
Y	p	
	q	有 1 条深染带

白鳖豚 G-带共有 159 条,其中深染带 91 条,浅染带 68 条。第 16 号染色体(st_1)是最长的一对染色体,有 8 条深染带和 6 条浅染带,有 1 条染色体出现异态现象,其短臂中部多了 1 条深染带,在早期分裂相的 G-带型中(图版XXIX, b),也发现了这种现象。另外,第 17 号染色体(st_2)是第二长的一对染色体,也有 10 条深染带,8 条浅染带。第 18 号染色体是 t 组最长的一对染色体,其带纹也十分明显,有 5 条深染带,4 条浅染带。我们认为,这些染色体可视为显带标记染色体,可用来与其他鲸类染色体带作同源性及亲缘关系演化的比较。

(2) 江豚的 G-带结果分析　　作者观察了江豚 8 个较好的中期分裂相的 G-带核型(图版XXX, a、b)。

江豚 G-带共有 142 条带,深染带 82 条,浅染带 60 条。第 16 号染色体(st_1)是最长的一对染色体,共有 5 条深染带,5 条浅染带。第 17 号染色体(st_2)是次长的一对,有 7 条深染带,5 条浅染带。另一比较有特征的是 18 号染色体,它是 t 组最长的一对染色体,共有 6 条深染带,6 条浅染带,其带纹十分明显。这些染色体容易识别,可作为显带标记染色体,并可用来进行同源性及亲缘关系的比较。

4. 限制性内切酶识别序列及其结果

(1) 白鳖豚限制性内切酶　　研究结果见图版XXX, a、c 和表 4-6。Hae Ⅲ 处理后,显示出非常明显的 C-带分化,深染区主要集中在臂上,着丝粒区几乎没有,具体阐述如下:

m 组: 6 对染色体,C-带不明显;

sm 组: sm_1 和 sm_2 二对染色体的长臂出现一小段着色较深区,sm_3 有一条染色体长臂出现很深着色区,另一条长臂染色相对浅一些。sm_1、sm_2 和 sm_3 这 3 对染色体短臂上均出现深

染区，但 sm_1 出现多态现象，有 1 条染色体短臂几乎没有着色，这一组其他染色体 C-带模糊；

表 4-6　所用限制性内切酶及其识别序列和产生的带型(引自陈帆研究生毕业论文)

Table 4-6　Restriction endonuclease, restriction site and banding pattern induced with restriction endonuclease

限制性内切酶 Restriction endonuclease	盐 Salt	识别序列 Restriction site	白鳖豚 *Lipotes*	江豚 *Neophocaena*
HaeⅢ	M	-GG|CC-	C	–
AluⅠ	A	-AG|CT-	⁄	C
HindⅢ	B	-A|AGCTT-	–	⁄
PstⅠ	H	--CTGCA|G–	⁄	⁄
HinfⅠ	M	-G|ANTC-	⁄	–

–表示没有进行实验；⁄表示没有诱导出任何带型；M 表示中盐，H 表示高盐，A 表示 A 盐，B 表示 B 盐；C 表示限制性内切酶诱导的 C-带。

st 组：st_1 和 st_2 长短臂均出现明显特异性 C-带；

t 组：t_1 臂上有 1 对着色较深的区域，t_2 近着丝粒有 1 对着色较深的区域。X 和 Y 染色体无明显 C-带。

白鳖豚限制性内切酶 Hae Ⅲ诱导的 C-带，着色较深处占总染色质量的 11% 左右。

除此之外，作者还采用 AluI, pst I, Hinf I 对白鳖豚的染色体进行了研究，没有产生明显的特异性带型。

(2) 江豚限制性内切酶　研究结果见图版XXXI,b 和表 4-6。用 Alu I 处理后，在少数染色体中见到 C-带的分化图版XXXI,b。st_1 和 st_2 分别为 st 组中最长和次长的同源染色体，它们的长臂显示出明显的 C-带分化，t_1 为 t 组中最长的同源染色体，其臂上可见 C-带分化。

除用 Alu I 外，还用了 Hind III, Pst I 对江豚的染色体进行研究，没有发现特异性。

作者还对以上研究结果与其他鲸类动物作了比较。

一般鲸类染色体数为 2n=44，银染所展示的核仁组织区(NOR_S)仅仅在最小的一对染色体上出现，而这对同源染色体常常发生联合。白鳖豚的 Ag-NORs 位点也在最小的一对染色体 sm_9 上，且在大小上存在一些分化。这种形态上的分化可能是由于毗邻 NOR 位点区域 C-异染色质的积累所致。这在其他鲸类如虎鲸 t_4，长须鲸 sm_6 等均发现有这种情况。在染色体数为 2n=42 的鲸类中则有两对同源染色体发生联合现象，其中比较小的一对染色体是整个染色体组型中最小的一对，这一点与染色体数 2n=44 的鲸类比较相似。另一对染色体则在比较长的一对 t 组同源染色体上，而且这对染色体上的 Ag-NOR_S 也常常发生分化，如美洲喙鲸的 Ag-NOR_S 中，有一些 C-带阳性的片段，将 NOR_S 从着丝点分离开，从而形成形态上的异态。Arnason(1981)认为这些毗邻 NOR_S 位点的异染色质片断很可能预示着不同染色体间 NOR 位点的转移。

在家鼠中就发现位于不同染色体的 Ag-NOR_S 位点。

江豚的 Ag-NOR_S 也位于最小的一对染色体上，这与白鳖豚及大多数 2n=44 的鲸类一致。众所周知，水生哺乳类的核型趋于保守性，不论鳍脚目，还是鲸目，它们的核型都较保守，但 Ag-NOR_S 的定位并不是特别僵化，在鲸目动物中已经建立起比较有限的变化。

在白鳖豚(图版XXIX，a、d)和江豚(图版XXVIII，c)早期分裂相中，观察到染色体的联合现象，它们都是分裂相中最小的一对同源染色体，相形之下，含比较大的同源染色体的联合则较少见到。可能是在制片时，作用在分裂相上的力趋于使染色体分散，大的染色体受到的离散力也较大。Duffield, D. A. *et al.*, (1977)认为联合方式是非随机的，主要有两种形式：一种是 t 组染色体的聚集，包括直接联合方式，占所测细胞的 70%—80%；另一种是在两个 t 染色体间，以端部与端部相靠的方式，占所测细胞的 35%。这些联合发生在同源染色体内，非同源染色体也可能发生。他将最小的一对染色体也包含在 t 组染色体中。Zakharon 的研究表明，早中期所见联合形态似乎为间期核留下的残余物。联合一般发生在早中期，而在正中期分裂相则没有观察到。因而我们可以推测，在间期核中，数目不等的核仁染色体，其 NOR_S 区域较近，当它们进行转录翻译时，所产生的酸性嗜银蛋白质混合在一起，银染时就呈现一个银染点，即银染核仁联合现象，故 NOR_S 活性越高，联合频率越大。在有丝分裂时，染色体间距加大、酸性蛋白质跟随于不同核仁染色体逐渐分开。因而可能用间期核中核仁联合残留物来解释 Ag-NOR_S 联合现象是有一定合理性的。

在鲸类中参加联合的这对最小的同源染色体常常含有 Ag-NOR_S 位点，作者的研究结果与之相同，而且这对染色体一般被排在 sm 组中最后一位，即 sm_{10}(图版XXVIII，d)比较合适，白鳖豚的这对染色体放在 sm_9(图版XXVIII，a)。

作者用白鳖豚 G-带核型与其他鲸类 G-带核型比较后，发现它的带型与须鲸亚目中长须鲸的带型十分相似。对比 4 对较长的染色体(图版XXIX，d)，发现白鳖豚 st_1 中有一条染色体出现异态，它比另一条同源染色体长许多，并且在短臂上多了 1 条深染带，长须鲸也观察到类似的情况，其 st_1 的一条染色体比另一条长 1/3 左右，在其短臂上也见到这条染带；白鳖豚的 st_2 是整个染色体组中带纹最丰富的一对同源染色体，有 10 条深染带，8 条浅染带。长须鲸 st_2 也是带纹最多的一对同源染色体，有 10 条深染带，8 条浅染带；白鳖豚的 sm_1 的着丝点附近有一着色较深的深染带，在长须鲸的 sm_1 中也观察到这条带，在短臂中部两种豚类均有 1 条深染带，但长须鲸长臂上分布的带纹比白鳖豚丰富；在长须鲸 4 对较长染色体中，有 1 对排在 st_3，而白鳖豚 4 对较长染色体中有 1 对排在 sm_2，从这两对染色体的比较来看，白鳖豚的 sm_2 与长须鲸的 st_3 比较相似，白鳖豚 sm_2 上分布有 8 条深染带，6 条浅染带，长须鲸的 st_3 上分布有 6 条深浅带和 5 条浅染带。其他组染色体如 t 组、m 组以及性染色体，它们的带型也较相似。

江豚的 G-显带与其他鲸类核型比较后，发现它的 G-带核型与齿鲸亚目海豚科中的斑原海豚十分相似。对比 4 对较长的染色体(图版XXX，c)，作者发现江豚 sm_1 和斑原海豚的 sm_1，在短臂的端部均见到染色较深，成点状的深染带，它们的着丝点也都有 1 条深染带，并且在近着丝点及长臂上均分布 4 条深染带和 4 条浅染带；江豚的 sm_2 短臂的端部有 1 条深染带，近着丝点有 1 条浅染带。斑原海豚的短臂也见到类似的带纹，而且它们的长臂近着丝点处都有 1 条几乎不着色的浅染带，其长臂上均分布有 3 条深染带和 3 条浅染带。江豚 st_1 的短臂端部有 1 条浅染带，近着丝点有 1 条深染带，而斑原海豚 st_1 的短臂带纹的分布与之相同，在长臂中江豚分布了 4 条深染带，4 条浅染带，斑原海豚的带纹分布相同，但其中间 2 条深染带的消化程度较深，江豚 st_2 的短臂和斑原海豚 st_2 的短臂消化程度都较深，带纹十分弱，江豚的 st_2 长臂分布了 5 条深染带和 4 条浅染带，斑原海豚 st_2 的长臂上分布有 6 条深染带，5 条浅染带，同时其近着丝点均分布有一较深的深染带。对比

江豚与斑原海豚的 t 组染色体发现，江豚 t_1 与班原海豚 t_1 在着丝点均有 1 条较弱的深染带，而且近着丝点的消化程度较深，江豚 t_2 在着丝点有一深染带，而斑原海豚则消化完全，江豚 t_2 上共分布了 4 条深染带和 3 条浅染带，斑原海豚 t_2 上分布了 3 条深染带，3 条浅染带。江豚其他组染色体与斑原海豚也比较相似，但总体而言，江豚 G-带型分化要比斑原海豚好，带纹略多一些。

作者用了 5 种限制性内切酶对白鳖豚染色体诱导带型分化，其中 Hae III 在白鳖豚成功地诱导出明显的 C-带分化。Alu I 在江豚少数染色体中诱导出 C-带分化。限制性内切酶 HaeIII 诱导的白鳖豚 C-带与陈敏容等(1993 年)采用 BSG 方法做的白鳖豚的 C-带对比(图版XXXI, c)，发现白鳖豚 4 对较长的同源染色体的长臂和短臂上，均出现了深染的区域；而且常规法 C-带中 sm_1 同源染色体出现多态现象，其中 1 条染色体的短臂上几乎见不到结构异染色区，而 Hae III 诱导的 C-带也观察到这种现象，这条染色体的短臂上没有深染区。t_1 是 t 组中最长的一对同源染色体。Hae III 诱导的 C-带与常规法 C-带均使其长臂上出现了深染区。Hae III 诱导的白鳖豚 C-带中，其深染区占总染色质的 11%左右，常规法 C-带中异染色质占总染色质 12%左右。因而，这两种方法产生的 C-带有十分明显的相似之处，这可能是由于白鳖豚的结构异染色区含有 HaeⅢ酶切位点较少的缘故。

限制性内切酶 Alu I 处理江豚的染色体，仅在数条染色体中诱导出 C-带分化。对比常规 C-带(图版XXXI,d)，发现其 st 组最长和次长的两对染色体(st_1, st_2)的长臂上，可见到与常规 C-带相似的深染区；t_1 是 t 组中最长的一对同源染色体，其深染区与常规 C-带中 t_1 的带型比较相似。常规 C-带的带型要比 Alu I 诱导的江豚的 C-带带型丰富，几乎所有染色体都可见到有异染色质区，而 Alu I 诱导的江豚 C-带仅在 st_1、st_2 及 t_1 中见到 C-带的分化，这可能是由于 st_1、st_2 及 t_1 同源染色体结构异染色质区中含有 Alu I 酶切位点较少，而其他染色体的结构异染色质区含有 Alu I 酶切位点较多。染色体的结构异染色质在 DNA 序列或结构上为异质性的(heterrogeneity)，而限制性内切酶则可以用于异染色质的分型(subset)研究。作者的实验结果表明，限制性内切酶 Alu I 仅在少数染色体中诱导出 C-带，从而支持了这种观点。De Stefano 曾经将 Alu I 产生的 C-带结果与人类染色体随体 DNA 分布列表逐一作了比较，它们之间具准确的一致性，认为用 Alu I 处理中期染色体，然后用 Giemsa 染色方法能够描述随体 DNA 的分布情况，因而在 Alu I 诱导的江豚 C-带中，st_1、st_2 和 t_1 染色体上可能存在有高度重复的随体 DNA 序列，这一点有待原位分子杂交来加以确认。

白鳖豚和江豚染色体数均为 2n = 44，都有 1 对 Ag-NORs 位点，且分布于最小的一对染色体上，白鳖豚常规法 C-带以及限制性内切酶诱导的白鳖豚 C-带对比表明，异染色质区比较集中在 4 对较长的染色体上，其次 t 组中 t_1 上的分布也比较接近，而其分布的不同处仅在一对同源染色体中见到，限制性内切酶诱导的白鳖豚 C-带在 sm_3 上有分布，而白鳖豚常规法 C-带核型中则没有见到；在其他组染色体上均没有见到 C-带分布。通过对比这两种豚的 G-带，发现无论在细胞有丝分裂前期，还是在有丝分裂中期，白鳖豚的 G-带要比江豚略丰富；而且白鳖豚的 G-带带型与须鲸亚目长须鲸的 G-带带型十分相似。江豚 G-带带型则与齿鲸亚目的斑原海豚的 G-带带型十分相似。可以认为，这两种豚核型的保守性是由于水生动物繁殖率低，生存空间中无明显障碍以及活动范围较大，导致近亲繁殖率低，新核型出现的概率较小造成的。虽然江豚，尤其是白鳖豚的生存环境与海洋中的其

他鲸类相差甚远，但江豚G-带带型却与其他科的鲸类G-带带型比较相似，而白鳖豚G-带带型则与其他亚目的鲸类G-带带型相似。Arnason(1974,1977,1980)根据鲸类核型的稳定性(即保守性)，认为须鲸亚目和齿鲸亚目是单源起源，即共同起源于古鲸亚目，作者的研究结果支持了这一观点。

陈帆等还研究了白鳖豚的核DNA碱基组成。作者用白鳖豚尾鳍静脉血制备了DNA，并测定了DNA的Tm值和碱基比，其结果如下：

(1) Tm值的测定结果　白鳖豚DNA的紫外吸收光谱如下(图4-2)：

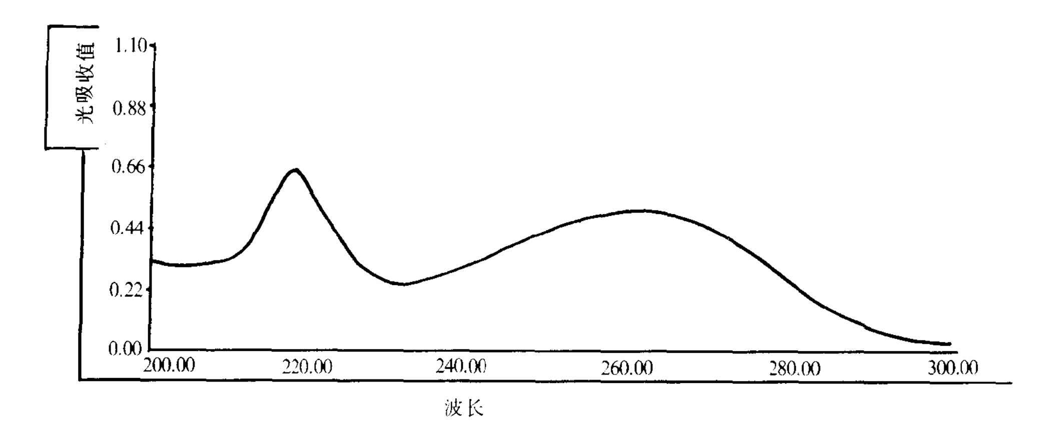


图4-2　白鳖豚DNA的紫外吸收光谱

Fig. 4-2　The ultraviolet absorption band of DNA in *Lipotes vexillifer*

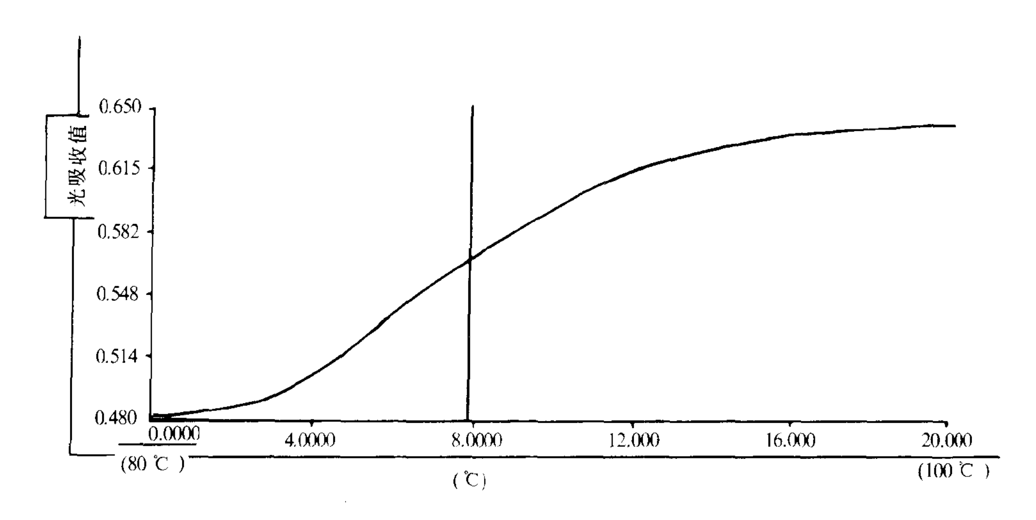


图4-3　白鳖豚DNA的变性曲线

Fig. 4-3　The denaturing curve of DNA in *Lipotes vexillifer*

最大吸收峰在A260nm = 0.48，最小吸收峰在A230nm = 0.27，比值为A260nm/A230nm = 1.83，符合其纯净DNA分子的比值在1.80—2.00的范围内。电泳检查，没有RNA存在，而且分子量大于1kb，说明没有降解。

变性曲线如下图(图 4-3)所示:

从上图可以看出,Tm = 87.4℃。

(2) 碱基比的计算　根据公式 %GC 含量 = (Tm—69.3) × 2.44,白鳖豚的 GC 含量为 44.16%。

(3) 变性速率　白鳖豚 DNA 的变性速率如下图(图 4-4)所示:

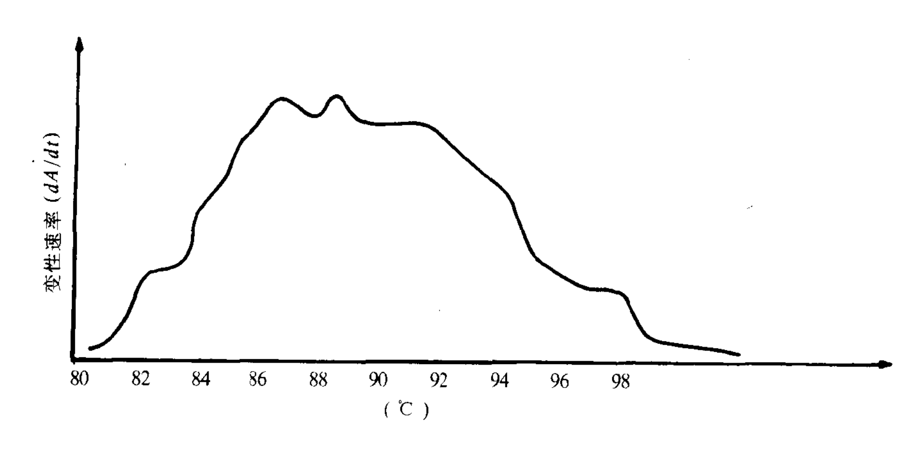


图 4-4 白鳖豚 DNA 的变性速率

Fig. 4-4　The denaturing velocity of DNA in *Lipotes vexillifer*

由上图可以看出,图上 dA/dt 的曲线随着温度的升高,并不成对称,而且起伏变化较大,说明白鳖豚的 GC 碱基分布不均一性较高,存在有许多富含 GC 的 DNA 序列。

据目前所知,哺乳类的 GC 含量一般在 40%—44% 之间,而白鳖豚的 GC 含量与其他哺乳类比较而言,是相当高的,达到 44.16%。生物在演化过程中,各类生物的 GC 含量变动范围是趋于缩小,并趋向稳定在 40%—44% 范围内,白鳖豚的 DNA 含量稳定在这个范围中,是一种较进化的生物。

从白鳖豚核 DNA 的热变性实验中,可看出其基因组 DNA 序列中碱基的分布是不均一的,而其他一些低等生物如鱼类的碱基分布就比较均一。不均一程度越高,形成碱基簇的概率就越大,因此,在进行多重带显带时,显然就会比碱基均一分布的低等生物显带的效果好,即明暗带对比显著。所以,多重带显带机制与碱基的性质及分布相关性较高。

二、心电图

到目前为止,对鲸类动物的心电图研究甚少,仅对鼠海豚(*Phocaena phocaena*)、白鲸(*Beluga leucas*)、长须鲸(*Balaenoptera physalus*)、宽吻海豚(*Tursiops truncatus*)和虎鲸的心电图作过测定;沈钧贤和关力(1981)根据中国科学院水生生物研究所饲养的白鳖豚"淇淇"1980 年因外伤严重化脓发高烧时一次测得的 3 个导联心电图作过描述;刘仁俊等(1992)对 2 例人工饲养的白鳖豚进行了研究。

测量心电图时,将白鳖豚置于厚 2cm 的泡沫塑料上,待其平静呈正常舒展状态后测量,导联连接法见表 4-7。

表 4-7　白鳘豚心电图常规导联连接法

Table 4-7　Link-up method of the routine electrocardiogram leads in *Lipotes*

导联名称 Leads		电极放置部位 Position of electrode	
		正极(+)	负极(-)
双极肢导联 Double electrode leads	标准 I 导联	左鳍肢	右鳍肢
	标准 II 导联	左尾柄基部	右鳍肢
	标准 III 导联	左尾柄基部	左鳍肢
单极导联 Single electrode leads	aVR	右鳍肢	各加 5 000Ω 的电阻
	aVL	左鳍肢	
	aVF	左尾柄基部	
	V_1	右鳍肢内侧 4cm，下 3cm 处	各加 5 000Ω 的电阻
	V_3	左鳍肢内侧 6cm，下 5cm 处	
	V_5	左鳍肢下 7cm 处	

1980 年以来所描记白鳘豚心电图的图形酷似正常人的心电图(图 4-5)，因此作者采用人体心电图的术语进行了各波、段的分析；这里将白鳘豚心电图与人和鼠海豚的心电图进行比较(表 4-8)。通过研究发现，白鳘豚心电图各波、段和间期的正常范围基本与人相似，但 T 波特征与正常人截然不同，P—R 间期亦较人延长。

白鳘豚正常心电图的基本特征是：

1) P 波：

① 频率范围为 80±18.7 次/min，随年龄增加而变慢。

② Ⅰ、Ⅱ、aVL，V_3，V_5，P 波直立；aVR，P 波倒置；余导联不定。

表 4-8　人、白鳘豚，鼠海豚心电图各波、段、间期的正常范围

Table 4-8　The normal range of electrocardiogram in Human, *Lipotes vexillifer* and *Phocaena phocaena*

	P 波				P—R 间期 (s.)	QRS 综合波			S—T 段	T 波	Q—T 间期 (s.)	其他
	方向	形态	时限 (s.)	电压 (mV)		波形方向	时限 (s.)	电压 (mV)				
人 Human	I，II，aVF，V_{4-6}↑，aVR↓，III、aVl、V_1 不定	顶部钝圆或有轻度切迹	<0.11	<0.25	>0.12 <0.20 随年龄变化	电轴正常：Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、aVF、主波↑，aVR↓，V_1 呈 rS，V_5 呈 qR 或 qR。胸导联由右→左 R 波逐渐增大；S 波变小。	0.06—0.10	V_1R/S<1，V_5R/S>1	等电位	与主波方向一致，不低于同导联 R 波的 1/10	0.32—0.44 与心率有关	T 波后 0.02—0.04s 出现与 T 波方向一致，振幅低的 u 波
白鳘豚 *Lipotes vexillifer*	Ⅰ、Ⅱ、aVL，V3—5↑，aVR，Ⅲ↓，V_1，aVF↑↓	同上	<0.12	<0.30	>0.24 <0.30 随心率变化	电轴左偏 5—11 度 Ⅰ、Ⅱ、aVL、V_{3-5} 主波↑，aVR、aVF、Ⅲ、V_1 主波↓，胸导联由右—左 R 波逐渐增大，S 波变小	0.06—0.07	V_1R/S<1 V_5R/S>1	等电位	与主波方向相反，不低于同导联 R 波的 1/10	0.32—0.40 与心率有关	未显示
鼠海豚 *phocaena*	Ⅰ Ⅱ Ⅲ ↓		0.02—0.06	0—0.2		Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ主波↓	0.02—0.06					

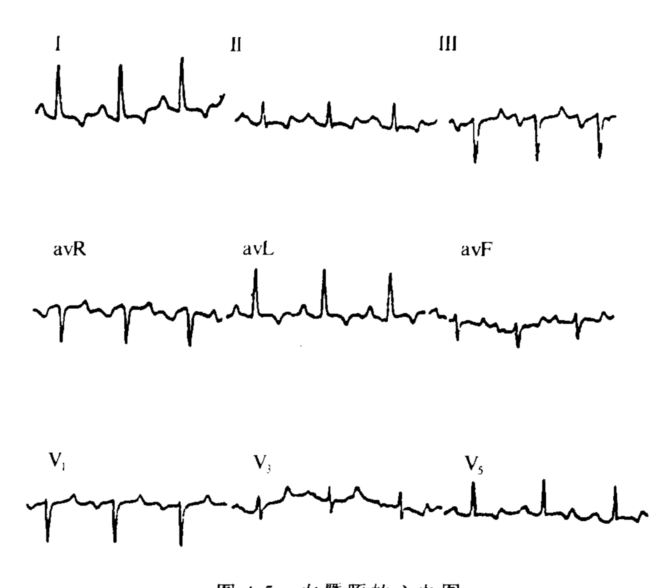


图 4-5　白鳖豚的心电图

Fig. 4-5　Electrocardiogram of *Lipotes*

③ P 波顶部钝圆或有轻微切迹。

④ P 波时限 0.11±0.013s,电压 0.24±0.06mV。

⑤ P—P 间期之差 0.12—0.20s,±0.013s。

2）电轴轻度左偏。

3）P—R 间期 0.25±0.018s,随心率而变化。

4）QRS 综合波：Ⅰ、Ⅱ、aVL,V_3,V_5 主波直立;aVR,V_1 倒置;胸导联由右→左 R 波逐渐增大,S 波变小。V_1 的 R/S<1,V_3 的 R/S>1(基本与人相同)。

5）S—T 段：在等电位线上。

6）T 波：与同导联主波方向相反。

7）Q—T 间期 0.332±0.015s,与心率有关。

根据 P 波频率,P 波的形态是 P_{II} 直立,aVR 倒置,P—R 间期在 0.25±0.018s 之间,P—P 间距相差在 0.12—0.20s 之内,初步可确定为窦性心律。

白鳖豚的体形是流线形,前肢成鳍状,分左右鳍肢,相当于人体的左右上肢,白鳖豚体表的后肢退化消失,尾部延长成尾鳍,成为其主要运动器官,尾柄基部左右侧相当于人体左右下肢。作者仿照人的常规导联联接法,从 1980 年到 1990 年先后描记了 2 例白鳖豚——"淇淇"和"珍珍"的心电图共 30 份,从其结果来看,诸波的形态都相同,重复性好,所以,可以认为白鳖豚心电图常规导联的连接方法可按表 4-7 所述进行。

表 4-8 结果说明,白鳖豚心电图各波、段和间期的正常范围与人相似,而仅 T 波特征两者迥然不同。人的 T 波与同导联的主波方向相同,机制可能是:① 心室肌外层的血供相对比内层多;② 心内膜下心肌承受的压力较心外膜下心肌大;③ 心内膜下心肌的小血管可能由于心室内高压使之萎陷,引起心内膜下血供减少致使心外膜心肌后除极而先复极,从而使复极的 T 波与除极的 QRS 波的主波方向一致。白鳖豚的 T 波与同导联的主波方向相反,这可能是白鳖豚心脏的心室壁(18—20mm)比人的明显增厚(9—12mm),由

于室壁增厚，室壁激动时间延长，因而先除极的心内膜下心肌先复极，使T波方向与QRS波主波方向相反。这就是白鳖豚心电图不同于人正常心电图的关键。另外，白鳖豚心电图的P—R间期较人明显延长，是否与房室传导经路与传导速度有关，尚待进一步探讨。

作者还观察到白鳖豚心电图电轴左偏，这可能与“下肢”导联的连接方位或心脏本身的位置有关。白鳖豚的心电图与鼠海豚存在一定的差异，例如鼠海豚心电图P波方向在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ导联全部向下，QRS波主波方向亦全部向下（表4-8），但是这种差异是否有临床意义，有待今后进一步研究。

白鳖豚“珍珍”饲养2年半后，于1989年9月18日开始患病，9月22日停止进食，9月27日死亡。9月24日描记其心电图，结果除心率增快（115次/min）外，均与多年来的记录相一致，未见异常。尸体解剖证实心脏未见任何病变，死因为间质性肺炎。心率快可能与体温升高或肺部感染缺氧有关。

三、血液学

鲸类血液学研究，自1939年诺尔（Knoll）广泛研究了鲸类胚胎的血液以来，1979年德蒙蒂（De Monte）和皮莱里（Pilleri）比较了21种海豚和几种淡水豚的血液学资料。

1982年刘仁俊首次报道了白鳖豚“淇淇”治疗外伤过程中血液的有形成分，提出了它们的正常和病理指标。1985年，陈道权等较为详细地研究了白鳖豚的血液有形成分，其研究的主要结果如下：

1. 白鳖豚血细胞的形态观察

白鳖豚外周血涂片上的血细胞，可分为嗜中性杆核和分叶核粒细胞、嗜酸性杆核和分叶核粒细胞、单核细胞、大小淋巴细胞、浆细胞、晚幼红细胞、环形红细胞、红细胞、异性淋巴细胞和异性单核细胞等多种类型。偶尔发现嗜中性晚幼粒细胞、幼浆细胞和浆质体细胞，未发现嗜碱性粒细胞。细胞内各成分的组成不同，经染色呈现出各种各样特有的颜色和形态（图版Ⅶa、b；图版Ⅷ，a、b）。

（1）红细胞　白鳖豚的成熟红细胞无核，像宽吻海豚一样，呈双凹陷的圆饼状，平均细胞直径为10.10 μm，比海豚的大（表4-9）。红细胞总量平均值342万个/mm^3（294—400

表4-9　白鳖豚和真海豚、白鲸各类血细胞直径的比较（单位：μm）

Table 4-9　Comparison on diameter of blood cell among *Lipotes vexillifer*, *Delphinus delphis* and *Delphinapterus leucas*

项　目	N	E	B	L	M	Ne	RBC
白鳖豚 *Lipotes vexillifer*	14.33 (10.43—19.13)	15.09 (12—18.26)	—	12.09 (8.7—13.91)	17.20 (13.91—20.49)	10.55 (8.7—12.17)	10.10 (8.7—13.04)
真海豚 *Delphinus delphis*	18.50	15.90	—	10.00	14.00		7.20
白鲸 *Delphinapterus leucas*	17.00	14.10	14.50	8.20	13.10		

万个/ mm³)与亚河豚相近。红细胞占血细胞总数的 99.80%。

白暨豚的晚幼红细胞是未成熟的有核红细胞,胞核圆形,核内染色质分布不匀,浓集成块,染色呈紫褐色车轮形或龟背形。常位于细胞中央或偏于一侧,浆内无颗粒,胞浆略带蓝的橙红色。细胞直径 10.55 μm,比成熟的红细胞略大。

白暨豚的环形红细胞数量少,在血涂片上时而见得到,时而见不到。无核,在胞内一侧或中央可见到圆形或半圆形的紫红色的小环带,胞体形态和直径与无核红细胞相似。

红细胞压积容量平均为 39.17%(35%—45%),与亚河豚的数值(41%)相近。

(2)白细胞　其总数波动范围在 3 650—6 950 个/ mm³ 之间,平均值为 5 391.67 个/mm³,占血细胞总数的 0.2%(表 4-10),比亚河豚的数量少。

表 4-10　淡水豚各类血液有形成分的比较(引自陈道权等,1985)

Table 4-10　Comparison of tangible composition of blood cell in freshwater dolphins

项目	RBC (万/mm³)	PCV (%)	WBC (个/ mm³)	N (%)	B (%)	E (%)	L (%)	M (%)	Ne (%)
亚河豚 *Inia geoffrensis*	392.00	41.00	13 393.00 8 325.00	58.00 69.88	0.50	10.50 11.00	26.30 15.87	3.83 2.00	
印河豚 *Platanista indi*				85.75		2.25	8.50	3.25	
恒河豚 *Platanista gangetica*				74.75		11.37	11.75	1.88	
白暨豚	342.00	39.17	5 391.67	54.69		12.21	31.79	1.39	0.69
Lipotes vexillifer	±33.46	±3.43	±1 244.20	±7.89		±6.48	±9.83	±1.41	±1.31

注:RBC:红细胞计数;PCV:红细胞压积容量;WBC:白细胞计数;N:嗜中性粒细胞;E:嗜酸性粒细胞;B:嗜碱性粒细胞;L:淋巴细胞;M:单核细胞;Ne:晚幼红细胞。

1) 浆细胞:白暨豚浆细胞变化大,胞体呈圆形或像其他形状,胞核结构与晚幼红细胞相似,胞核呈圆形或类圆形,常偏于一侧,或半抛出细胞外。幼浆细胞的浆内可见类似于嗜中性粒细胞的淡粉红色颗粒,浆有空泡似泡沫状,呈淡红蓝色。成熟的浆细胞浆内无颗粒,胞浆的颜色与晚幼细胞相同。

2) 浆质体细胞:浆质体细胞同红细胞一样大,胞浆染色也与红细胞无别,浆内却自由分布着大小不等,无定形的紫黑色颗粒。浆质体是一种胞核逸出所形成的,一般情况下是难以见到的,除非机体受到某种刺激和有某种疾病才能在外周血液中见到。

3) 嗜中性粒细胞:白暨豚的嗜中性粒细胞接近圆形,胞体变形运动较大,核内染色质分布不均匀,浓集成团,浆内可见分布均匀、大小相似淡紫红色的点状颗粒。分叶核一般为 2—4 叶,彼此间由较细的核丝或较粗的核桥连结。胞核呈紫红色,胞浆呈淡粉红色,其杆状核位于细胞一侧,弯曲成较均匀的带状或"S"形。在血涂片上很少见到晚幼粒细胞,其核凹陷呈肾形,染色质分布较均匀,浆内颗粒小而多,浆的颜色与杆核和分叶核细胞相同。细胞直径为 14.33 μm(10.43—19.13 μm),比真海豚(18.51 μm)和白鲸(17.00 μm)的小。

白暨豚嗜中性粒细胞数量占白细胞总数的半数以上,平均为 54.69%(40%— 67%),

与亚河豚(58%)相近,而比印河豚(85.75%)和恒河豚(74.75%)的数量为低。

4)嗜酸性粒细胞:嗜酸性粒细胞呈圆形,胞膜不平滑,胞浆量少,浆内充满着桔红色颗粒,颗粒有光泽,大小一致,宛如小珠,比中性粒细胞的颗粒大而明显。核一般分为杆核和2—3叶的分叶核,核上附有少数颗粒或无颗粒,染色质粗糙,排列致密呈紫红色。细胞平均直径为15.087 μm,与真海豚(15.90 μm)和白鲸(14.01 μm)相近。嗜酸性粒细胞占白细胞总数的12.71%(0%—23%),与亚河豚(10.50%)、恒河豚(11.37%)和真海豚(12.45%)均相近。

5)淋巴细胞:白鳖豚的淋巴细胞分为大淋巴和小淋巴两种。细胞大多呈圆形,大淋巴细胞核呈圆形或肾形,核浆比例大,核内有大小相似、分布均匀的紫褐色颗粒,核染色质分布不均匀,多有浓集。浆内颗粒少而集中。小淋巴细胞的胞体呈圆形,胞核几乎占据整个细胞,隐约可见淡蓝色的胞浆。淋巴细胞的平均直径为12.09 μm,比真海豚和白鲸的大(表4-10)。此类细胞占白细胞总数的31.69%(13%—48%),比亚河豚、印河豚的数量高(表4-10)。

6)单核细胞:单核细胞由幼单核细胞演变而来,是血液中最大的成熟细胞。细胞形态变动较大,呈类圆形或变形虫形。胞核偏一侧扭曲成麻花状、马蹄形、肾形和分叶形,核结构疏松,染色质分布不均匀,胞浆呈淡灰色,浆内充满着无定形的淡蓝红色颗粒,颗粒分布不匀呈堆积状。平均直径为17.20 μm,比真海豚和白鲸(13.10 μm)的大(表4-10)。细胞数量占白细胞总数的0%—5%,平均为1.39%,与恒河豚(1.88%)和贝河豚(*Inia boliviensis*)(2.0%)相仿(表4-10)。

7)异形细胞:根据细胞核和细胞质成熟的阶段不同,白鳖豚的异形细胞可分为以下三种类型:第一类是胞体和胞核属于嗜中性分叶核时期,而细胞浆和颗粒进入了单核细胞阶段;第二类核已成熟为单核细胞的核,胞浆仍属于淋巴细胞类;第三类核停留在淋巴细胞阶段,胞浆和颗粒则成为单核细胞的。

8)退化型血细胞:白鳖豚外周血液中的退化型细胞已观察到三种:退化型嗜中性粒细胞分叶多至6叶,胞体变大而变形产生突起;退化型嗜酸性粒细胞具有不光滑,核着色不匀,核的两端染色深中央淡,浆内颗粒堆积,光泽不一致的特征,退化型单核细胞胞体不规则,胞核结构疏松呈断线头状,随胞体而变化,胞浆内颗粒堆积有空泡。

作者认为上述白鳖豚"淇淇"的血液有形成分分析测定的结果,基本上可以代表这种动物在人工饲养下的正常血液指标。

白鳖豚的白细胞总数、单核细胞数还不到亚河豚的1/2,其红细胞直径(10.10 μm)大于亚河豚(6.85 μm),除在所观察的血片上没有发现嗜碱性粒细胞外,其所测项目则与亚河豚较为接近。

2. 白鳖豚血液生化指标

1987年陈道权等报道了白鳖豚某些血液生化指标的测定结果。研究结果表明(表4-11,12),健康豚体的血液生化指标变动幅度不大,用该指标作标准来判断白鳖豚的行为、摄食、生长是否正常和有无疾病的迹象是可靠的。因此,本实验所测定"淇淇"的各项数据,可以作为人工饲养条件下白鳖豚血液正常生理生化指标。

白鳖豚是恒温动物,体温在35.5℃左右。"淇淇"的血液生化指标没有周年性变化

(表 4-11),仅 1982 年谷氨酸丙酮酸转氨酶含量(GPT 36.6)比其他年度高,这是由于当年取得血样未及时分离,血样少量溶血而引起的。

表 4-11 白鳖豚"淇淇"血液生化指标各年度平均值(引自陈道权等,1987)

Table 4-11 Annual mean values of blood biochemistry in *Lipotes vexillifer*, Qi Qi

	血红蛋白 Hb1)	总蛋白 TP2)	白蛋白 A3)	球蛋白 G4)	胆红素定量 Bil5)	碱性磷酸酶 AKP6)	谷氨酸丙酮酸转氨酶 GPT7)	尿素氮 BUN8)
1981	9.00	6.70	4.25	2.45			25.00	53.00
1982	10.45	6.80	4.47	2.37	0.125	12.63	36.68	54.00
1983	11.20	6.58	4.13	2.45		11.30	17.20	61.60
1984	13.10	6.30	3.91	2.43	0.125	12.70	21.30	43.40
1985	11.37	6.46	3.78	2.56	0.165	11.20	26.00	43.60
Mean	11.45	6.54	4.06	2.45	0.138	12.15	26.09	50.68
±S.D	1.6	0.31	0.35	0.32	0.031	1.55	10.29	12.68

1) Hemoglobin; 2) Total protein; 3) Albumin; 4) Globin; 5) Bilirubin; 6) Alkaline phosphatase(King unit); 7) Glutamic pyruvic transminase(Reitman-Frankel unit); 8) Blood urea nitrogen Hb, TP, A, G(g/100ml); Bil, BUN (mg/100ml).

人工饲养条件下生活多年的豚与新捕捉的豚的血液生化指标没有多大差别(表 4-11),这与 De Monte 和 Pilleri(1972)研究了亚河豚和恒河豚之后得出的结论一致。然而死于肝炎、肺炎等多种疾病的"联联"与"淇淇"和"珍珍"的血液生化指标相比,除其碱性磷酸酶(AKP),葡萄糖(Glu)含量相近外,其他各项指标均明显不同(表 4-12)。"联联"的血清肝功能指标谷丙转氨酶(107.6)、谷氨酸草酰乙酸转氨酶(GOT 171.5),胆红素(Bil 6.0mg/100ml)都较正常白鳖豚"淇淇"、"珍珍"的肝功能指标谷丙转氨酶(20.77)、谷草转氨酶(78.67)、胆红素(0.13mg/100ml)高得多,这可能是"联联"患病之后,机体自动调节而引起血液生化指标改变的缘故。

Ridgway(1970)曾发现一头死于急性黄疸肝炎的海豚,谷丙转氨酶、谷草转氨酶、胆红素指标都很高,从而可以认为和人类一样,谷丙转氨酶、谷草转氨酶、胆红素可能作为诊断肝病的指标。

尿酸是嘌呤的代谢产物,为血浆中的非蛋白氮成分之一,Ridgway(1972)所报道的 5 种海豚的血浆尿酸水平均在 1.1±0.7mg/100ml 以下,唯独亚河豚的尿酸水平大于 10.0±3mg/100ml。Garman 等(1983)曾报告过,有一头亚河豚在其饲养的第六年,患有皮肤痛风病(cutancous gout)其尿酸含量达到 14.4mg/100ml,并且用治疗痛风病的药别嘌呤醇(allopurinol)进行治疗获得成功。

据测健康白鳖豚的血浆尿酸为 0.95mg/100ml,所测江豚的尿酸为 1.1mg/100ml。由上述结果可见白鳖豚和所测 6 种海豚的血浆尿酸水平很接近,而不同于同一科的淡水豚亚河豚。亚河豚血尿酸水平高,可能是缺乏尿酸酶所致,与其生活的淡水环境无关。

从白鳖豚与几种海豚和 4 种淡水豚类的血液生化指标的比较(表 4-11),可以看出白鳖豚血液生化指标除尿素氮和白蛋白(A)较亚河豚高外,其余各项均较其他淡水豚低,尤

表 4-12　白暨豚和其他豚类某些血液生化指标(引自陈道权等,1987)

Table 4-12　Some blood biochemistry values obtained from *Lipotes vexillifer* and other dolphins

Species	Specimens	Sex	总蛋白 TP	白蛋白 A	球蛋白 G	白蛋白/球蛋白 A/G	尿素氮 BUN	碱性磷酸酶 AKp	谷氨酸丙酮酸转氨酶 GPT	谷氨酸草酰乙酸转氨酶 GOT1)	胆红素定量 Bil	葡萄糖 Glu2)	游离胆固醇 Free chol.3)	酯化胆固醇 Lipide chol.4)	总胆固醇 T. chol.5)	尿酸 Uricaci6)
白暨豚 *Lipotes vexillifer*	淇淇(QiQi)	♂	6.79	4.18	2.59	1.61	50.47	11.58	21.58	80.17	0.138	111.16	14.15	173.65	203.61	0.68
	珍珍 (Zhen Zhen)	♀	6.51	2.71	3.80	0.71	58.53	15.00	19.95	77.17		104.17	66.40	123.47	186.68	1.12
	平均值 Mean values		6.65	3.45	3.20	1.16	54.50	13.29	20.77	78.67	0.138	107.67	40.28	148.56	195.15	0.95
	联联 (Lian Lian)	♂	6.16	3.10	1.06	1.06	38.46	11.80	107.60	171.51	6.000	100.05	45.12	265.34	310.46	2.10
亚河豚 *Inia geoffrensis*		6♂ 6♀	7.60	2.45	5.15	0.47	41.00	18.00	28.50	162.50	0.200	121.15	65.00	223.75	288.75	18.70
印河豚 *Platanista indi*		2♂ 3♀	8.66	4.22	4.44	0.95							89.00	163.00	252.00	
恒河豚 *Ptatanista gangetica*		1♂ 3♀	8.63	4.48	3.16	1.08							95.00	173.00	268.00	
拉河豚 *Plntoporia blainvillei*		♀	7.80	3.39	4.40	0.76										
虎鲸 *Urcinus orca*			6.50	4.20	2.55	1.64	25.00 25.00		25.00	50.00	0.150					0.8±0.4
宽吻海豚 *Tursiops truncatus*			7.00	4.00	2.75	1.45	25.00		60.00	0.150					1.10	
白鲸 *Globicephala metaena*		4♂ 6♀	7.70	4.48	3.22	1.39	62.30		38.00	144.80						

1) Glutamic oxalacetic transaminase; 2)Glucose; 3)Free cholesterol; 4)Lipide cholesterol; 5)Total cholesterol; 6)Uric acid, TP, A, G,: (g/100ml); AKP, GOT: King-unit; Glu, Free chol, Lipide chol. Total chol, Uric acid: (mg/100ml); Bil, BUN: (mg/100ml)

其是健康的谷草转氨酶和血尿酸比亚河豚低得多，这是否是种群差异，有待今后研究。

淡水豚类的尿素氮和葡萄糖较鳍脚类高得多，可能是因为淡水豚类食物组成几乎都是蛋白质和脂肪的缘故。血糖水平高是因为能量代谢很大程度依赖于糖原异生作用。此外，捕捉和采血样过程中，动物挣扎和兴奋引起肾上腺反应也可使葡萄糖增加10%—30%。高尿素氮水平可能是代谢率提高和高蛋白饵料的一种反映。

白鱀豚白蛋白与球蛋白比值为1.16，波动范围在0.71—1.61之间，个体间差异较大，与印河豚相似，白蛋白与球蛋白之比（A/G）平均值为0.95，波动范围为0.78—1.19，亚河豚白蛋白与球蛋白比值为0.47，是淡水豚中最低的。显然"淇淇"的白蛋白和球蛋白比值较其他淡水豚大。

在临床医学上人的白蛋白与球蛋白之比的正常值均大于1，否则称为比例倒置，是一种病理现象。它是由于肝脏合成蛋白质功能受阻，消化系统或肾功能障碍而引起的白蛋白减少的结果，球蛋白浓度增高，除了由于血清水分减少的间接原因外，与细菌和寄生虫感染所引起的疾病有关。Ridgway(1970)认为球蛋白浓度升高，白蛋白浓度降低是豚严重创伤引起的。De Monte 和 Pilleri (1972)所作的4头亚河豚的白蛋白与球蛋白之比值都十分低。这种反常情况，是否与捕捉时大量失血引起血浆白蛋白减少有关；亚河豚白蛋白浓度较高，是否是它在采血样前就患有某种疾病，还是这个种具有球蛋白含量较高，白蛋白含量低的特征，文中没有说明，关于球蛋白，亚河豚、印河豚和拉河豚的含量都较高，而白鱀豚和恒河豚球蛋白含量较低都与海豚相近。总之，就收集的资料来分析，白鱀豚的某些血液生化指标与某些海豚如虎鲸和宽吻海豚更相近。

官之梅(1985)研究了白鱀豚血红蛋白电泳的相对迁移率。白鱀豚血红蛋白的电泳图谱有清晰的两条带。它们的相对迁移率(mr)分别是0.415和0.485，相对迁移率的百分比(mr%)分别是84.70%和99.07%（人类 HbA mr% = 100%）。较慢带含量的百分比是68.42%，较快带的为31.58%。按照蒙蒂(De Monte)和皮莱里(Pilleri, 1971)的命名法，白鱀豚的血红蛋白类型应在V和V_1之间。在血红蛋白溶液中没发现非血红素蛋白带 NHP（non-hemprotein)。

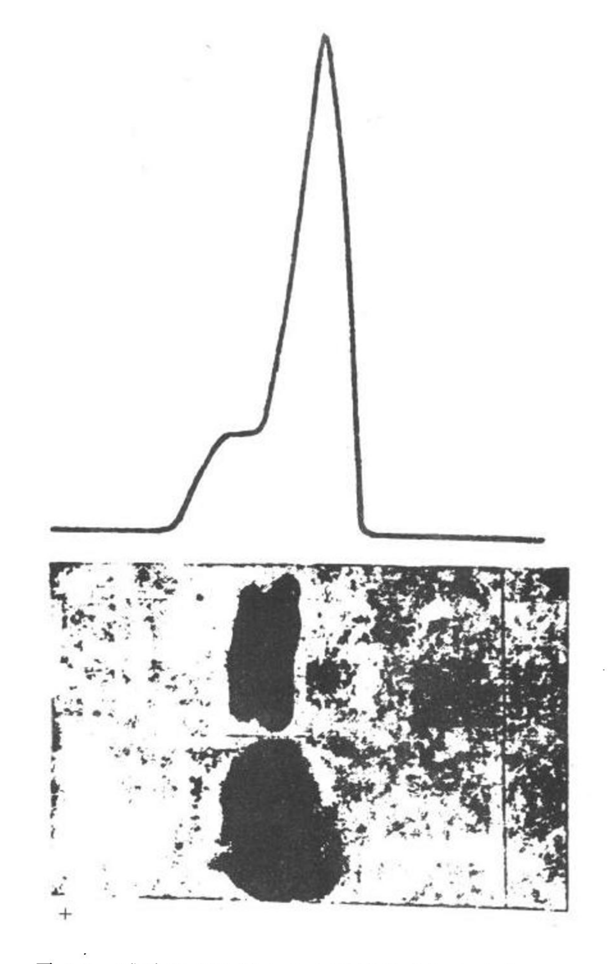


图4-6 醋酸纤维薄膜上的电泳迁移率和光密度
Fig. 4-6 The electrochromatography mobility and densitograms on the cellulose acetate membrane

1979 年蒙蒂和皮莱里对自 1968 年以来许多学者所做的鲸类血红蛋白相对迁移率的研究结果进行了概括和分类。尽管由于标本难以得到，这一研究不论在动物的种类还是数量上都是很有限的，但仍为今后鲸类血红蛋白研究工作的标准化奠定了良好的基础。

血红蛋白相对迁移率的研究，除了能为分类和系统发生等方面的分析提供参考之外，血红蛋白电泳图谱的变异，作为研究和分离异常血红蛋白的有效方法，也是临床诊断的重要手段。

淡水豚总科血红蛋白相对迁移率的研究工作已经进行的有贝河豚、亚河豚、拉河豚和印河豚。官之梅研究了白鱀豚血红蛋白的相对迁移率，并与其他淡水豚作了比较（表 4-13），白鱀豚血红蛋白的电泳图谱有两个清晰的带（图 4-6）。第一个带（向阳极泳动较慢的带）密度较大；第二个带（向阳极泳动较快的带）密度较小。相对迁移率（mr）分别为 0.415 和 0.485。相对迁移率的百分比（mr%）分别为 84.7% 和 99.07%。两个带成分含量的百分比分别为总量的 68.42% 和 31.58%。按照 Van Ros 范桑德（Van Sande）所介绍的划分方法，它们介于 V 型和 V_1 型之间，作者认为应是 V—V_1 型较为确切。

表 4-13 淡水豚类血红蛋白带的相对迁移率（mr）、相对迁移率的百分比（mr%）、含量百分比和 NHP 带的数量（引自官之梅，1985）

Table 4-13 The relative mobility(RM), the percentage of relative mobility(RM%), percentages of constituents of the Hb fraction and number of NHP fraction for freshwater dolphins

种类 Species	Hb 类型	相对迁移率（mr）		相对迁移率的百分比（mr%）		含量百分比（%）		NHP	标本数 n
		1	2	1	2				
亚河豚 *Inia geoffrensis*	Ⅲ	0.548		111.80		100			2
贝河豚 *Inia boliviensis*	Ⅱ	0.450		91.83		100		3	4
印河豚 *Platanista indi*	Ⅱ-Ⅲ[1)]	0.464		94.69		100		1	1
拉河豚 *Pontoporia blainvillei*	V_1	0.461	0.537	93.87	109.79	67.2	32.8	0	7
白鱀豚 *Lipotes vexillifer*	V-V_1	0.415	0.485	84.70	99.07	68.42	31.58	0	1
人类 HbA		0.49		100%					

1）原作者将其的 Hb 类型放在类型 II。为更准确了解其电泳位置，官之梅认为定作 II-III 类型更妥。

白鱀豚血红蛋白溶液中没有非血红素蛋白带 NHP。

白鱀豚血红蛋白相对迁移率与蒙蒂和贝鲁达所做的 4 种淡水豚的资料见表 4-12。

比较这些资料可以看到：

① 白鱀豚和拉河豚一样，它们血红蛋白的电泳图都是 2 个带。白鱀豚 2 条血红蛋白带的相对迁移率都高于 V 型的平均值（0.39 和 0.45），又低于拉河豚的 V_1 型，是淡水豚总科中最接近拉河豚的种类。

② 白鱀豚和拉河豚 2 条血红蛋白带的百分比含量都是第一条带高于第二条带，而且

含量的百分比十分相近;第一条带分别为 68.42% 和 67.2%,第二条带分别为 31.58% 和 32.8%。

③ 白鳖豚和拉河豚的血红蛋白溶液中都没有非血红蛋白带 NHP,而亚河豚和恒河豚都具有 NHP 带。

由以上分析可见,白鳖豚血红蛋白的电泳图谱不同于地理上接近而又都生活于淡水的恒河豚,而和生活于南美的咸淡水的淡水豚拉河豚相似。

四、白鳖豚的生理与生物化学

1. 肌肉生化成分

陈少莲和刘肖芳(1986)对白鳖豚的生化成分进行了分析。她们用常规生化分析法处理,对一头白鳖豚肌肉的生化成分分析结果如下:

肌肉水分含量 74.04%,蛋白质 20.03%,脂肪 1.53%、灰分 1.11%,无氮浸出物 3.29%。用日立 835-50 型氨基酸分析仪测定肌肉(经脱脂后用酸水解法处理)的氨基酸组分及含量的测定结果如下:肌肉含有常见的 17 种氨基酸,其中包括人体必需氨基酸 7 种(异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸及缬氨酸);色氨酸因用酸水解法处理被破坏,半必需氨基酸 2 种(精氨酸及组氨酸),这 9 种氨基酸含量占总含量的 51.93%,其余 8 种非必需氨基酸(丙氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、脯氨酸、胱氨酸、丝氨酸及缬氨酸)占 48.07%,可见白鳖豚肌肉蛋白质的营养价值是高的(表 4-14)。

表 4-14 白鳖豚肌肉生化成分(%)(引自陈少莲等,1986)

Table 4-14 Biochemical composition of muscle of *Lipotes vexillifer*

<table>
<tr><td rowspan="3">体长
(cm)
226.1</td><td colspan="4">水分</td><td colspan="3">蛋白质</td><td colspan="4">脂肪</td><td colspan="3">灰分</td><td colspan="4">无氮浸出物</td></tr>
<tr><td colspan="4">74.04</td><td colspan="3">20.03</td><td colspan="4">1.53</td><td colspan="3">1.11</td><td colspan="4">3.29</td></tr>
<tr><td colspan="18">氨基酸成分及含量(单位: mg/g 湿重)</td></tr>
<tr><td>体重
(kg)</td><td>天冬氨酸
ASP</td><td>苏氨酸
THR</td><td>丝氨酸
SER</td><td>谷氨酸
GLU</td><td>甘氨酸
GLY</td><td>丙氨酸
ALA</td><td>胱氨酸
CYS</td><td>缬氨酸
VAL</td><td>蛋氨酸
MET</td><td>异亮氨酸
ILE</td><td>亮氨酸
LEU</td><td>酪氨酸
TYR</td><td>苯丙氨酸
PHE</td><td>赖氨酸
LYS</td><td>组氨酸
HIS</td><td>精氨酸
ARG</td><td>脯氨酸
PRO</td><td>氨基酸总和</td></tr>
<tr><td>165</td><td>19.64</td><td>9.99</td><td>9.06</td><td>31.67</td><td>9.84</td><td>13.76</td><td>1.58</td><td>10.57</td><td>2.49</td><td>10.55</td><td>20.02</td><td>7.22</td><td>13.34</td><td>20.66</td><td>10.75</td><td>12.49</td><td>5.74</td><td>209.37</td></tr>
</table>

陈佩薰等(1985)分析了 12 头白鳖豚胃的内含物,主要是鱼类,其种类有鲤、鲢、草鱼、青鱼、三角鲂、赤眼鳟、鲶和黄颡鱼。作者用白鳖豚及其部分饵料鱼(上述前 4 种)肌肉的氨基酸分析结果加以比较,两者均含有 17 种氨基酸,但氨基酸的含量不同。白鳖豚肌肉湿重含氨基酸 209.37mg/g,4 种饵料鱼中鲤为 157.1mg/g,鲢为 136.2mg/g,草鱼为 152.97mg/g,青鱼为 127.9mg/g。白鳖豚肌肉含必需氨基酸及半必需氨基酸占总量 51.93%。而 4 种饵料鱼分别为 46.55%、47.85%、48.31% 及 47.76%。白鳖豚的高含量氨基酸(按含量高低排列)为谷氨酸、赖氨酸、亮氨酸及天冬氨酸,低含量氨基酸为脯氨酸、蛋氨酸及胱氨酸;饵料鱼前者为谷氨酸、天冬氨酸、赖氨酸及亮氨酸,后者为组氨酸,蛋氨酸及胱氨酸。白鳖豚猎食鱼后,通过其消化道的消化吸收过程,将大分子蛋白质分解为非特异性的氨基酸,利用这些分解产物合成具有自身特异性的蛋白质。因此它们利用饵料

鱼的氨基酸合成蛋白质不是简单复制过程。它们猎食鱼的种类不同,表明它对猎食对象没有选择性,种类的多样性是取决于被猎食物大小适口及其机遇。从白鳖豚肌肉的氨基酸的含量表明,实际上没有一种饵料鱼所含的氨基酸完全满足它的需要,所以在饲养时,若能足量地供给多品种的饵料鱼,是可以保证它正常生长的。当饵料鱼不足时,还可按这类动物所需的必需氨基酸的模式及非必需氨基酸与必需氨基酸的适宜配比,配合其他营养素制作人工饵料,作为补充食料。

2. 白鳖豚体脂分析

鲸类动物是水生哺乳动物,它们在水生环境中仍能保持恒定的体温,并具有特殊的回声定位功能。许多学者根据海豚油脂成分和性质的研究认为,鲸类动物的所有这些功能都与其油脂的成分和性质有关(Morris *et al.*, 1973, Tsuyuki *et al.*, 1971, Tsuyuki *et al.*, 1972)。

陆佩洪和杨利霆(1980)研究了白鳖豚身体各部位的酸价(acid value),碘价(iodine value)、皂化价(saponification value),不皂化物(unsaponifiable matter)以及甘油三酯(triglyceride)等项指标,并与其他几种海豚作了比较(表 4-15,16,17,18。图 4-7, 8, 9, 10, 11 均引自陆佩洪等)。

表 4-15 白鳖豚、江豚、真海豚、大海豚体内各部位油脂的酸价

(中和 1g 油脂中游离脂肪酸所需 KOH 的 mg 数)

Table 4-15 The lipid acid value in some parts of body of *Lipotes vexillifer*, *Neophocaena phocaenoides*, *Delphinnus delphins* and *Tursiops truncatus*

种类	胸部	背部	鳍背	脐点周围	尾部	额隆	额隆附近
白鳖豚	2.69	3.08	2.94	3.10	3.02	0.70	
江　豚	1.16	1.18	1.31	1.08	0.80		
真海豚	1.06	1.05	1.08	1.40	1.50		
大海豚							0.90

表 4-16 白鳖豚、江豚、真海豚、大海豚体内各部位油脂的碘价

(100g 油脂样品所能吸收碘的 g 数)

Table 4-16 The lipid iodine value in some parts of body of *Lipotes vexillifer*, *Neophocaena phocaenoides*, *Delphinnus delphins* and *Tursiops truncatus*

种类	胸部	背部	鳍背	脐点周围	尾部	额隆	额隆附近
白鳖豚	110.8	110.7	107.1	109.4	117.1	25.2	
江　豚	103.8	107.5	111	101.2	117		
真海豚	115	121	106.9	118.1	117.1		
大海豚							21.6

表 4-17 白鳖豚、江豚、真海豚、大海豚体内各部位油脂的皂化价

(皂化 1g 油脂所需 KOH 的 mg 数)

Table 4-17 The lipid saponification value in some parts of body of *Lipotes vexillifer*, *Neophocaena phocaenoides*, *Delphinnus delphins* and *Tursiops truncatus*

种类	胸部	背部	鳍背	脐点周围	尾部	额隆	额隆附近
白鳖豚	206.4	194.9	207.8	202.8	204.8	211.97	
江　豚	231.04	234.1	228.4	228.4	215		
真海豚	220.25	212.4	221.7	217.7	217.5		
大海豚							285.9

表 4-18　白鱀豚、江豚、真海豚、大海豚体内各部位油脂的不皂化物(%)

Table 4-18　The lipid unsaponificable matter % in some parts of body of *Lipotes vexillifer*, *Neophocaena phocaenoides*, *Delphinnus delphins* and *Tursiops truncatus*

种类	胸部	背部	鳍背	脐点周围	尾部	额隆	额隆附近
白鱀豚	1.19	1.32	1.34	1.28	1.42	19.13	
江　豚	0.58	0.92	0.59	1.18	0.77		
真海豚	2.41	1.36	2.82	1.23	1.86		
大海豚							14.07

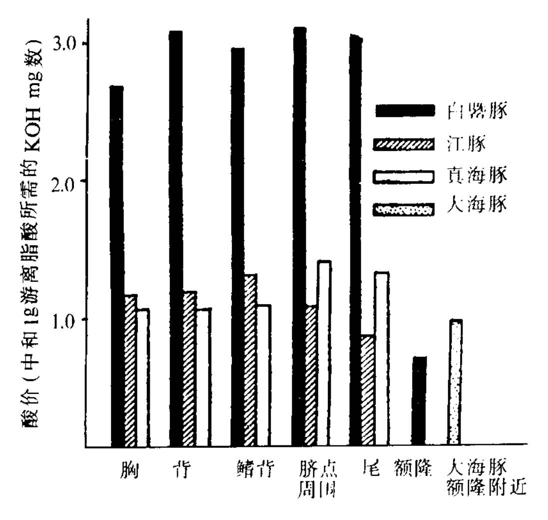
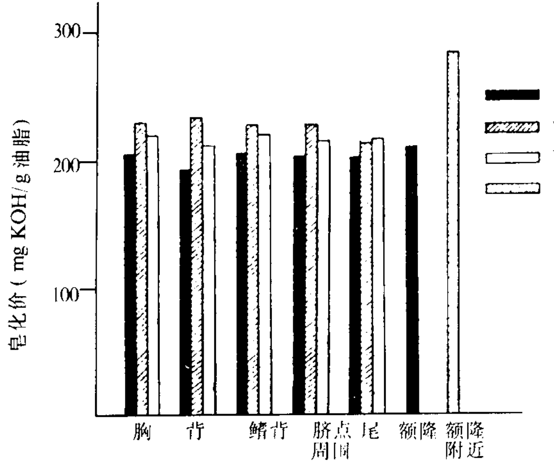


图 4-7　白鱀豚、江豚、真海豚、大海豚体内各部位油脂酸价的比较

Fig. 4-7　The comparison of lipid acid value in body of *Lipotes vexillifer*, *Neophocaena phocaenoides*, *Delphinus delphis*, and *Tursiops truncatus*

图 4-8　白鱀豚、江豚、真海豚、大海豚体内各部位油脂碘价的比较

Fig. 4-8　The comparison of lipid iodine value in body of *Lipotes vexillifer*, *Neophocaena phocaenoides*, *Delphinus delphis*, *Tursiops truncatus*



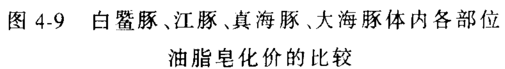


图 4-9　白鱀豚、江豚、真海豚、大海豚体内各部位油脂皂化价的比较

Fig. 4-9　The comparison of lipid saponification value in body of *Lipotes vexillifer*, *Neophocaena phocaenoides*, *Delphinus delphis*, *Tursiops truncatus*

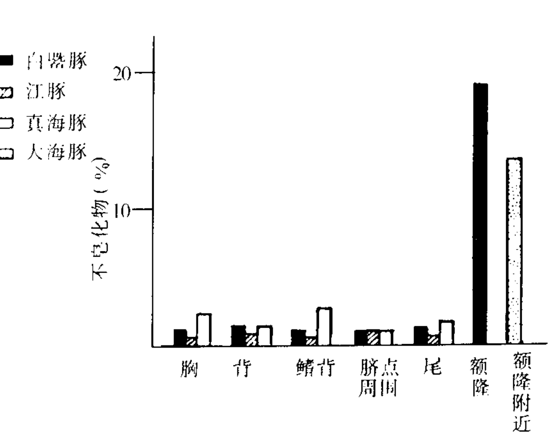


图 4-10　白鱀豚、江豚、真海豚、大海豚体内各部位油脂的不皂化物的比较

Fig. 4-10　The comparison of lipid unsaponifiable in body of *Lipotes vexillifer*, *Neophocaena phocaenoides*, *Delphinus delphis* and *Tursiops truncatus*

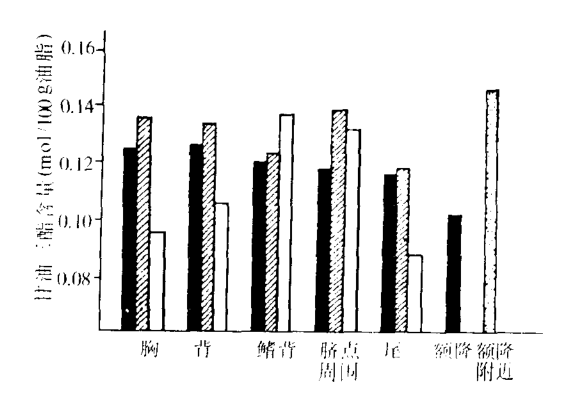


图 4-11 白鱀豚、江豚、真海豚、大海豚体内各部位油脂中甘油三酯含量的比较

Fig. 4-11 The comparison of lipid triglyceride in body of *Lipotes vexillifer*, *Neophocaena phocaenoides*, *Delphinus delphis* and *Tursiops truncatus*

从他们的研究结果可以看到：

（1）酸价　表 4-15 和图 4-7 表明白鱀豚体内各部分油脂的酸价比江豚和真海豚相应部位的酸价要高，而其额隆油脂的酸价（0.7 左右）又大大低于其他部位油脂的酸价（3.0 左右），这说明白鱀豚身体各部位油脂中的游离脂肪酸的含量比江豚和真海豚高，而其额隆油中的游离脂肪酸含量很低。

（2）碘价　白鱀豚体内各部位油脂除额隆外的碘价与江豚和真海豚各部位油脂的碘价相近（表 4-16），而额隆油脂的碘价很低（为其他各部位的 1/4），由于碘价反映油酯的不饱和程度，这说明白鱀豚额隆油中不饱和脂肪酸含量很低。

（3）皂化价和甘油三酯量　白鱀豚油脂平均皂化价为 200 左右，比江豚（220 左右）和真海豚（215 左右）要低，其额隆油酯的皂化价略高于其他部位（表 4-17，图 4-9），而甘油三酯含量要低于身体其他部位（表 4-19）。

表 4-19　白鱀豚、江豚、真海豚、大海豚体内各部位油脂中甘油三酯含量

（每 100g 油脂中所含甘油三酯的 mol 浓度）

Table 4-19 The lipid triglyceride in some parts of body of *Lipotes vexillifer*, *Neophocaena phocaenoides*, *Delphinnus delphins* and *Tursiops truncatus*

种类	胸部	背部	鳍背	脐点周围	尾部	额隆	额隆附近
白鱀豚	0.126	0.126	0.120	0.118	0.116	0.102	
江　豚	0.136	0.134	0.124	0.139	0.118		
真海豚	0.096	0.106	0.137	0.132	0.089		
大海豚							0.146

（4）不皂化物和总胆固醇含量　白鱀豚额隆油脂中不皂化物的百分含量特别高（约 19%），约为其他油样所含不皂化物的 10 倍（表 4-18，图 4-10），额隆油酯的总胆固醇含量为 0.78%，可见其不皂化物中总胆固醇量很低。从测定结果来看，白鱀豚额隆油酯的性质颇为特殊。第一，油脂饱和度很高；第二，不皂化物含量特别高，而总胆固醇含量很低，说明其蜡酯水平较高；第三，油样中扣除不皂化物后，如以油酸甘油三酯分子量换算甘油三酯的重量，则可超过油酯重量。显然其油酯组成中必含多量短链脂肪酸。油酯组成上的这些特点与白鱀豚潜水时的浮力调节、超声传导和吸收功能有密切关系。

3. 白鱀豚额隆油的脂肪酸组成

邹玉珍等（1982）研究了白鱀豚额隆油的脂肪酸组成，这里引用他们的研究结果如下：

（1）蜡酯及甘油三酯　是白鱀豚额隆油的主要组分。

根据薄层层析结果，白鳖豚的额隆油在醚—石油醚—乙醚—冰醋酸(90∶10∶1V/V)或苯—氯仿(7∶3V/V)扩展剂中层析，均出现两个大斑点，显色也较深。在薄板上部有一斑点为蜡酯，中下部有一甘油三酯，另在溶剂前沿有少量烃(图 4-12 和 4-13)。

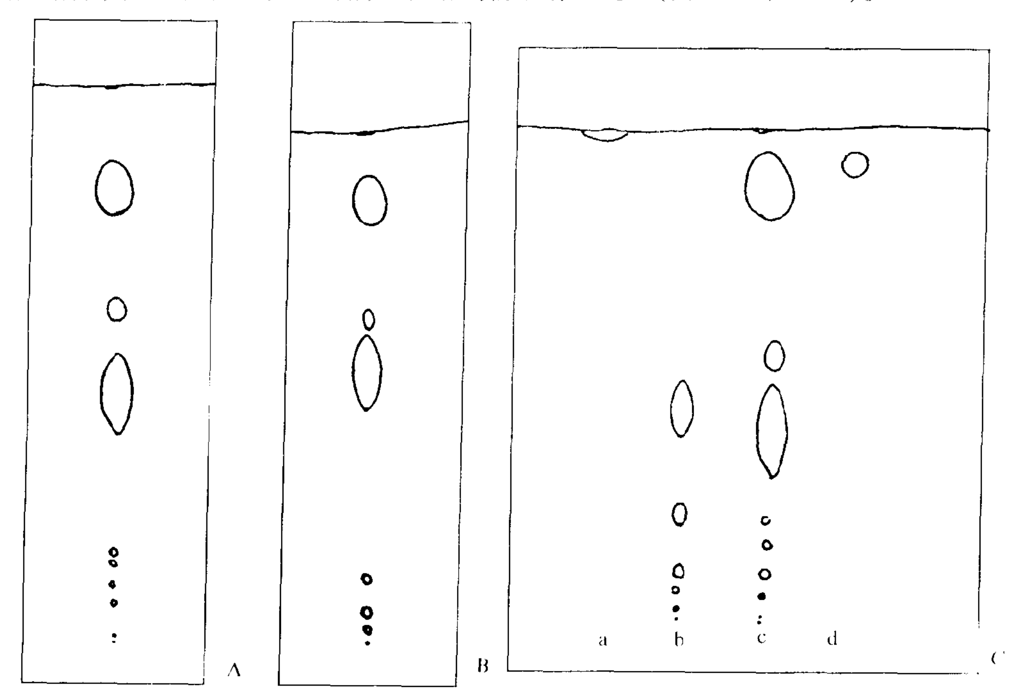


图 4-12 白鳖豚额隆油的薄层层析(由实物描图，温度 15℃)

A. 扩展剂：石油醚—乙醚—冰醋酸(90∶10∶1，v/v)；B. 扩展剂：苯—氯仿(7∶3，v/v)；C. 由薄层制备板分离出的纯品：a. 石蜡油；b. 三油酸甘油酯；c. 白鳖豚额隆油；d. 白鳖豚额隆油蜡酯。

Fig. 4-12 The lipiod class composition of melon oil of *Lipotes vexillifer* by TLC

由柱层析得知油样含蜡酯 38.86%，含甘油三酯 37.80%。另有 15.92% 的一个成分，用薄板检查，其 Rf 值较甘油三酯低，在 5℃ 时观察其为液体，而甘油三酯此时为固体，二者红外光谱图(在 Shimadzu IR-27G 红外分光光度计上分析)略有差异。因此，此液体部分需进一步鉴定。此外，由柱层析检出少量的烃。

(2) 脂肪酸　经 GC 及 GLC-MS 分析，检出脂肪酸 26 种，碳原子数 8—18。双键数 0-2(图 4-13，c；表 4-20)。

① 在 26 种脂肪酸中，主要是饱和脂肪酸(81.83%)，不饱和脂肪酸仅占 18.22%，因此白鳖豚额隆油的碘值较低(按 Wijs 法测定的碘值为 37.8)。

② 白鳖豚额隆油含较多的 C_{12} 及 C_{14} 脂肪酸，占总脂酸的 75.85%。其中尤以 iso$C_{12:0}$(15.91%)及 n$C_{12:0}$(23.36%)的含量最显著。

③ 白鳖豚额隆油不含异戊酸但含较多的异构酸，在饱和酸中，分支酸的含量高达总量的 44.34%。

邹玉珍等还对研究结果进行了分析和讨论，指出：Litchfield 等(1974)曾报道恒河豚额隆油主要含甘油三酯，不含蜡酯，而亚河豚额隆油主要为甘油三酯和蜡酯，并认为亚河豚额隆酯质组成的分布与回声定位有关。邹玉珍等认为白鳖豚额隆油主要组分为甘油三酯和蜡酯，因此亦与回声定位有关。

表 4-20　白鳖豚额隆油脂肪酸的组成(引自邹玉珍等,1982)

Table 4-20　The fatty acid component of melon oil in *Lipotes vexillifer*

色谱峰号	保留时间	质谱数据		鉴定结果	含量(%)
		基峰 m/e	分子离子峰 m/e		
1	1.35			$nC_{8:0}$	0.035
2	1.61	74	186	iso-$C_{10:0}$	0.5929
3	1.85	74	186	n-$C_{10:0}$	3.0092
4	2.25	74	200	iso-$C_{11:0}$	1.678
5	2.6	74	200	n-$C_{11:0}$	0.3161
6	3.2	74	214	iso-$C_{12:0}$	15.9087
7	3.74	74	214	n-$C_{12:0}$	23.3573
8	4.06	96	212	$C_{12:1}$	5.7959
9	4.6	87	228	iso-$C_{13:0}$	5.9443
10	5.42	40	226	$C_{13:1}$	0.6272
11	6.74	74	242	iso-$C_{14:0}$	9.8597
12	7.94	42	242	$C_{14:0}$	8.1925
13	8.44	74	242	$C_{14:0}$	10.1651
14	10.04	96	240	$C_{14:1}$	2.127
15	11.6	55	240	$C_{14:1}$	0.1394
16	13.12	67	238	$C_{14:2}$	0.2888
17	14.6	74	256	$C_{15:0}$	0.4726
18	17.24	74	270	$C_{16:0}$	2.0406
19	18.96	55	268	$C_{16:1}$	5.3715
20	22.32	69	268	$C_{16:1}$	0.2582
21	25.04	55	266	$C_{16:2}$	0.0905
22	28.32			iso-$C_{17:0}$	0.1871
23	32.56			n-$C_{17:0}$	0.0545
24	35.12			$C_{18:0}$	0.007
25	40.48			$C_{18:1}$	3.0904
26	48.64			$C_{18:2}$	0.4209

由于有些齿鲸的额隆油含有大量异戊酸(>50mol/100g),因此有些研究者认为含异戊酸的蜡酯及甘油三酯赋于额隆具有特异的声学特性,为回声定位所必需。1974 年,Litchfield 等对齿鲸亚目 6 个科 17 个属的额隆油组分进行了比较研究,结果表明,海豚科、鼠海豚科及一角鲸科均含大量异戊酰酯质,而喙鲸科(Ziphiidae)、抹香鲸科及淡水豚类的亚河豚、恒河豚的额隆油都不含异戊酯。这说明异戊酯与回声定位的相关性只在一部分齿鲸类中存在,因此 Litchfield 等提出有回声定位功能的额隆脂质的组成不止一种类型。在喙鲸科、抹香鲸科及上述两种淡水豚的回声定位与其额隆脂质的长链脂防酸部分有关。

Ackman 等(1971)曾提及亚河豚、抹香鲸有回声定位功能的脂肪组织含有较高水平的 C_{10}—C_{14}脂肪酸,与其他属的含有大量异戊酸的鲸类一样,有利于这种脂肪组织对超声的发射和接收。

分析结果表明,白鳖豚额隆油不含异戊酸,而含有较高水平的 C_{12}和 C_{14}脂肪酸,特别是 iso$C_{12:0}$(15.91%)和 n$C_{12:0}$(23.36%)的含量较高,这些较高水平的脂肪酸可能与白鳖豚的回声定位有关。这一结果与 Litchfield 等 1974 年提出的观点基本吻合。

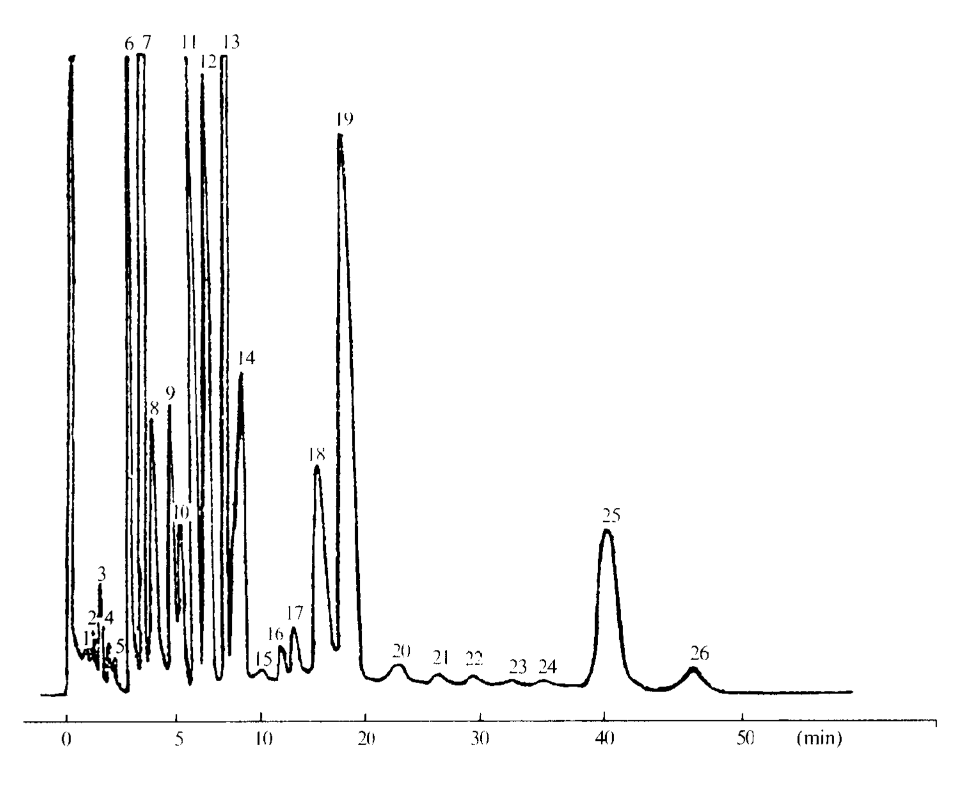


图 4-13　白鳖豚额隆油脂肪酸甲酯的气液色谱图

Fig. 4-13　The GLC picture of the fatty methyl ester from melon oil of *Lipotes vexillifer*

露木英男等(1974)曾报道过恒河豚与亚河豚的额隆油含有少量的异戊酸，因此尚不能完全肯定淡水豚的额隆油不含异戊酸。

从现有资料可以看到，恒河豚、亚河豚和白鳖豚在额隆油的脂肪酸组成上亦存在差异。由表21可以看出，恒河豚脂肪酸最高碳数为20、亚河豚为19、白鳖豚18，双键数恒河豚0—3，亚河豚0—3，白鳖豚0—2。恒河豚的不饱和脂肪酸含量高(68.74%)、亚河豚次之(23.15%，由mol/100g换算成重量%，下同)，白鳖豚最少(18.22%)。因此，恒河豚额隆油的碘值最高，亚河豚次之，白鳖豚最低(表4-21)。

由表4-21还可看出，恒河豚额隆油有高含量的$C_{16:1}$酸(38.97%)及$C_{18:1}$酸(21.31%)，占总脂酸量的大半；而它的iso$C_{12:0}$(微)、n$C_{12:0}$(0.97%)与亚河豚的iso$C_{12:0}$(7.82%)，n$C_{12:0}$(17.92%)及白鳖豚的iso$C_{12:0}$(15.91%)、n$C_{12:0}$(23.36%)相比，相差甚远。亚河豚额隆油含量最高的脂酸是n$C_{12:0}$(17.92%)及n$C_{14:0}$(25.24%)，占总脂肪酸的43.16%。白鳖豚额隆油含iso$C_{12:0}$及n$C_{12:0}$酸最多，占总脂酸量的39.27%。

额隆油的异构脂肪酸见表4-21。白鳖豚含isoC_{10}、C_{11}、C_{12}、C_{13}、C_{14}、C_{17}，占总脂肪酸量的44.37%。亚河豚含isoC_5，C_{10}，C_{11}，C_{12}，C_{13}，C_{14}，C_{15}，C_{16}，C_{17}，C_{18}及anteisoC_{11}，C_{13}，C_{15}，占总脂酸量的19.83%。恒河豚额隆油含异构酸的种类最少，量也最低。它含有isoC_5，C_{12}，C_{14}，C_{16}占总脂酸量的1.42%。三种淡水豚额隆油的碘值见表4-22。

上述三种豚皆属淡水豚类，其具有声功能的额隆脂质的脂肪酯组成却有不少差异，但

表 4-21　几种淡水豚额隆油的脂肪酸组成

Table 4-21　The fatty acid component of melon oil in some freshwater dolphins

脂肪酸	白鱀豚	恒河豚[1)]	亚河豚[2)]
	重量(%)	重量(%)	mol/100g
iso-$C_{5:0}$		0.55	0.22
n-$C_{5:0}$		0.27	0.17
$C_{6:0}$		0.10	
$C_{8:0}$	微	1.93	0.05
iso-$C_{10:0}$	0.59	0.36	0.15
n-$C_{10:0}$	3.01		1.30
iso-$C_{11:0}$	1.68		0.51
anteiso-$C_{11:0}$			0.52
n-$C_{11:0}$	0.32		0.86
iso-$C_{12:0}$	15.91	微	8.70
n-$C_{12:0}$	23.36	0.97	19.94
$C_{12:1}$	5.80	0.18	4.14
iso-$C_{13:0}$	5.94		1.86
anteiso-$C_{13:0}$			0.63
n$C_{13:0}$		0.09	1.18
$C_{13:1}$	0.63		4
iso-$C_{14:0}$	9.86	0.12	4.85
$C_{14:0}$	8.19	7.08	24.63
$C_{14:0}$	10.17		
$C_{14:1}$	2.13	3.76	9.28
$C_{14:1}$	0.14		
$C_{14:2}$	0.29	1.17	
iso-$C_{15:0}$			0.65
anteiso-$C_{15:0}$			0.36
n-$C_{15:0}$	0.47	0.41	0.37
$C_{15:1}$			0.16
iso-$C_{16:0}$		0.75	1.20
n$C_{16:0}$	2.04	17.09	8.18
$C_{16:1}$	5.37	38.97	7.86
$C_{16:1}$	0.26		
$C_{16:2}$	0.09	0.40	0.07
$C_{16:3}$		1.86	0.12
iso$C_{17:0}$	0.19		0.04
n$C_{17:0}$	0.05	0.38	0.02
iso$C_{18:0}$			0.32
n$C_{18:0}$	0.01	1.02	1.02
$C_{18:1}$	3.09	21.31	0.09
$C_{18:2}$	0.42	0.45	0.02
$C_{18:3}$		0.39	0.02
$C_{19:0}$		0.14	0.01
$C_{20:1}$		0.25	
饱和脂肪酸	81.83	31.26	78.24
不饱和脂肪酸	18.22	68.74	21.76

1)和 2) 露木英男等，1974。

这仅是对少数个体比较的结果,至于是否有个体、性别、年龄、季节的变化及取样部位不同而引起的差别,这须做更多的工作才能作出结论。

表 4-22 几种淡水豚额隆油的碘值

Table 4-22 The iodine value of melon oil in some freshwater dolphins

种	白鱀豚 ♀,长 2.06m,重 115kg	恒河豚[1)] ♂,长 1.99m 重 84kg	亚河豚[2)] ♀ 长 2.03m,重 80kg
碘值	37.8	70.9	47.2

1)和 2)露木英男等,1974。

另外,邹玉珍等(1984)还研究了白鱀豚额隆油、下颌油及皮脂油的脂肪酸组成,研究结果表明,白鱀豚的额隆油和下颌油含甘油三酯和蜡酯,皮脂油含甘油三酯而无蜡醋。根据比较解剖学的观点,齿鲸类的额隆和下颌脂肪体分别由头部的颌唇肌和下颌肌肉脂肪性退化形成(周开亚等,1981,1982),它们的来源与皮脂不同,因此,额隆油和下颌油的化学组成相似,而与皮脂油的化学组成不同。他们根据已发表的研究报道和自己的实验结果,把齿鲸类按皮脂油的主要组分区别与总科级分类相符合的三大类。即抹香鲸总科(Physeteroidea)、淡水豚总科(Platanistoidea)(邹玉珍等认作鱀豚总科)和海豚总科(Delphinokdea)。

4. 白鱀豚某些功能蛋白的电泳特性

自 1939 年 Eichelberger 开始对鲸类动物的血红蛋白进行研究以后,De Monte 和 Pilleri(1979),Medway 等(1965,1966),Arnason(1982,1983)等分别研究和总结了 20 种左右鲸类的血浆蛋白和水生哺乳动物某些功能蛋白的电泳特性的变异情况,从而看出大型哺乳类的遗传变异水平与小型哺乳类相比显得较低。在鲸类方面的研究也证实其功能蛋白和同工酶的遗传变异比人类低,而与其他大型哺乳动物具有大致相同的变异水平,这可能是"阻隔" 的影响造成这种功能蛋白的低变异现象。并认为由于这种"阻隔" 而引起的近亲繁殖的结果。由于这种区域性边界的分割,使生活于不同生态环境的鲸类的功能蛋白和同工酶的电泳特征产生明显的差异。因此,可以应用功能蛋白和同工酶的变异来判别水生哺乳动物的活动规律和种群结构,甚至可以用血清蛋白和 11 种同工酶的免疫反应和电泳迁移特征对鲸类进行系统树分析。官之梅研究了白鱀豚某些功能蛋白,现引用其研究结果和有关图表如下:

(1) 血浆总蛋白(TP) 用醋酸纤维薄膜作支持物对白鱀豚血浆蛋白进行电泳分离,最大的分辨力可分成 11 条蛋白带。从阳极到阴极依次是前白蛋白(ξ)、白蛋白(A)和 9 条后白蛋白(PA),即球蛋白,缺少 1 条泳动慢的异白蛋白带(heA),见图 4-14。种内各个体和雌雄个体之间的差异不大。此种血浆总蛋白醋酸纤维薄膜电泳图谱的特点是:PA_1 和 PA_2 为两条清晰的淡染色带,PA_3,PA_4 和 PA_5 着色较深,但迁移率相近似;PA_6 和 PA_9 光密度较大,分离清晰,PA_7 和 PA_8 由于它们非常近似的迁移率和同质性不总是能分辨清楚。

(2) 脂蛋白(LP) 脂蛋白用醋酸纤维薄膜分离的效果不好,3 个标本的血浆电泳均仅能将脂蛋白分成 3 条区带:a-脂蛋白(在 A 和 PA_2 之间),β-脂蛋白(在 PA_5 和 PA_6

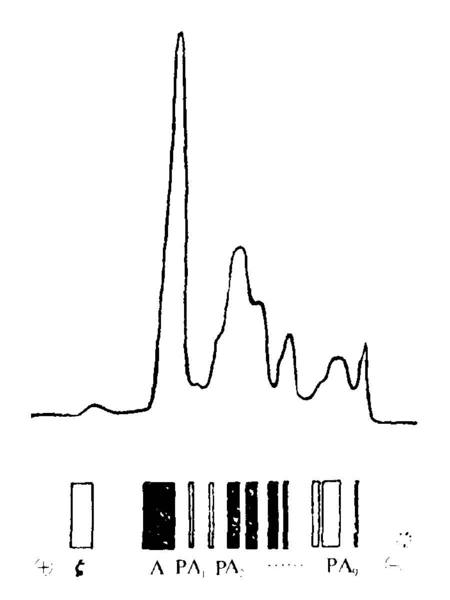


图 4-14 醋酸纤维薄膜分离白鳖豚血浆总蛋白的电泳图和光密度图谱

Fig. 4-14 The densitograms and electrophoretogram of total plasmaprotein fraction on cellulose acetate membrane of *Lipotes vexillifer*

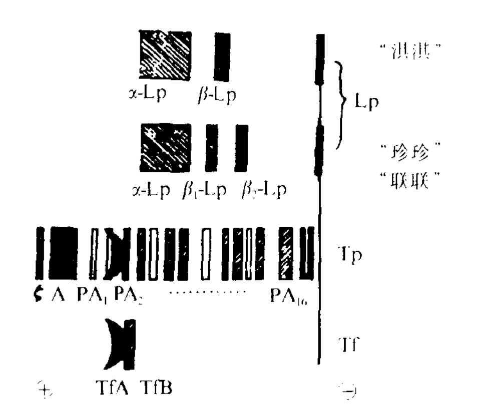


图 4-15 聚丙烯酰胺凝胶分离白鳖豚血浆总蛋白、酯蛋白的电泳图谱

Fig. 4-15 The electrophoretogram of total plasmaprotein (Tp), Lipoprotein (Lp) and Transferrin (Tf) on polycrylamidegel for *Lipotes vexillifer*

处)和乳糜微粒(在起点处),聚丙烯酰胺凝胶电泳可将"珍珍"与"联联"的脂蛋白分成4条带,从阳极到阴极依次是α-脂蛋白、β-脂蛋白和β_2脂蛋白(分别相当于PA_{6-9},PA_{10}和PA_{12});前-β-脂蛋白和乳糜微粒在点样处(为了和总蛋白带的电泳图谱对照均用7%的胶之故)。"淇淇"的β-脂蛋白仅一条区带。就β-脂蛋白座位而论,"淇淇"很可能是纯合型个体。

(3) 运铁蛋白(Tf)　聚丙烯酰胺凝胶可将运铁蛋白分成T_fA和T_fB两个带,分别相当于PA_3和PA_4(图4-15)。白鳖豚的T_f的相对迁移率比人类的大得多。这与其他学者所研究过的其他鲸类的运铁蛋白图谱一致。

(4) 血红蛋白(Hb)　白鳖豚血红蛋白的电泳图谱为两条区带,它们相对迁移率的平均值分别是0.422和0.485,相对迁移率的百分含量分别是86.02%和99.07%(人类为100%),其含量百分比平均值分别为61.41%和38.59%,按照De Monte和Pilleri的命名法,白鳖豚Hb类型应在V和V_1之间,血红蛋白溶液中没有非血红素蛋白带NHP。

Baluda于1972年发现2头幼虎鲸泳动快的Hb带所占百分含量比另外4头成年虎鲸的低。他认为这可能和人类HbF带的百分含量随年龄增长而下降类似。我们所测幼年白鳖豚"珍珍"的Hb泳动慢的带所占百分含量(55.05%)反而低于平均值(61.41%)。

(5) 乳酸脱氢酶(LDH,EC1.1.1.27)　白鳖豚各组织的LDH同工酶的特异性图谱如图4-16所示:骨骼肌和肝的LDH同工酶酶谱均为5条带,各带的光密度从高到低

依次为 LDH-5＞LDH-4＞LDH-3＞LDH-2＞LDH-1；心脏和肾的酶谱也有 5 条带，含量由高到低为 LDH-1＞LDH-2＞LDH-3＞LDH-4＞LDH-5；胰脏的酶谱为 4 条带，各带光密度由高到低的顺序是 LDH-3＞LDH-1＞LDH-4＞LDH-2。

由图 4-16 可见，白鳖豚的 LDH 同工酶的电泳图谱具有明显的组织特异性。这和人类以及其他哺乳动物完全一致，即 LDH-B(LDH-1，2)主要存在于好氧器官如心肌和肾中；LDH-A(LDH-5，4)大都在厌氧的器官如骨骼及肝脏中。得有黄疸病的“联联”各组织匀浆和血清的 LDH 活性约为健康豚“珍珍”和“淇淇”的 12 倍左右，并以 LDH-2 和 LDH-1 活性的增高尤显著。这似乎和人类临床医学上的情况一样，可用测定 LDH 同工酶酶谱的方法对黄疸病进行鉴别和诊断。

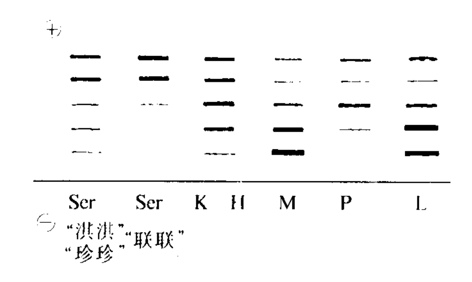


图 4-16 LDH 同工酶在白鳖豚组织中的表达

Ser. 血清；K. 肾；H. 心脏；M. 肌肉；P. 胰；L. 肝脏。

Fig. 4-16 Expression of LDH isozymes in tissues of *Lipotes vexillifer*

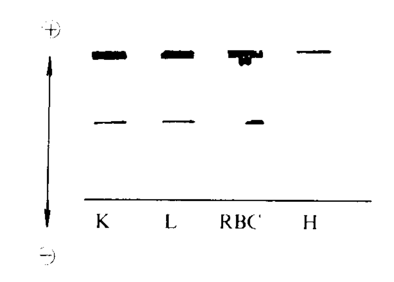


图 4-17 G-6-PD 同工酶在白鳖豚组织中的表达

Fig. 4-17 Expression of the G-6-PD isozymes in tissues of *Lipotes vexillifer*

(6) 葡萄糖-6-磷酸脱氢酶(G-6-PD，EC，1.1.1.49) 白鳖豚肾和肝的 G-6-PD 同工酶酶谱为 AB-型，即有两条酶带 A 和 B，且 A 带的活性显著大于 B 带；心肌的 G-6-PD 酶谱为 1 条活性很弱的 A 带；红细胞 G-6-PD 同工酶则为 AB 型，即两条酶带的活性均高，然而 A 带上有一拖尾(图 4-17)。骨骼肌的脾中没测出 G-6-PD 同工 酶。

(7) 苹果酸酶(ME，EC1.1.1.40) 哺乳动物的苹果酸酶同工酶具有 S-ME 和 m-ME 两类，分别代表此酶的可溶性和线粒体的形式，这两类苹果酸酶在哺乳动物的脑、心肌、肾、肝和皮肤的电泳图谱中均能表达。所测白鳖豚各组织匀浆上清液的苹果酸同工酶谱仅在心肌和肾中测出一条泳动较慢的 S-ME 酶带，且心肌中的苹果酸酶的活性很强，而肾中的很弱，骨骼肌和肝脏中没有测出 ME 同工酶。

(8) 酯酶(SET，EC3.1.1) 酯酶是用来表示动物组织中所发现的一群复杂的羧酸酯水解酶。这种酶大多是单体，易受外界生态环境的影响，因此种内和种间有很大的变异。它可作为动物种群进化改变的理想的基因标志物，也可用于解决分类以及研究亲缘关系接近的种类的分子进化特征。临床上测定胆碱酯酶用于有机磷农药中毒和肝脏疾病的诊断。

白鳖豚各组织酯酶分离的谱带较为简单：肾脏仅具 EST-1，EST-3 和 EST-8 这 3 条酶带；骨骼肌具 EST-3，EST-8 和 EST-9 共 3 条带；心肌和肝脏具 EST-3 和 EST-9 2 条酶带。所测白鳖豚“联联”取样时已严重消瘦，因此肝脏和各组织的酯酶酶带很简单，是否由于疾病和饥饿而引起组织中酶的失活尚不能定论。据其他学者所测各种海洋哺乳类的

酯酶同工酶酶谱也有较大的差异。如小须鲸的肝、骨骼肌和肾均只有2条酯酶酶带。鳍脚类的几种海豹的肝和骨骼肌中也仅有2条酯酶酶带。然而海象各组织和血样单则类似人类那样具多种不同的酯酶酶带。

Arnason(1983)所作的长须鲸的心肌酯酶酶谱也十分复杂,共分离出12条电泳带,且有高比例的多型现象。鉴于这种情况,白鱀豚的酯酶酶谱较为简单,是病理状态还是正常现象需今后作更多的标本方能证实(图4-18)。

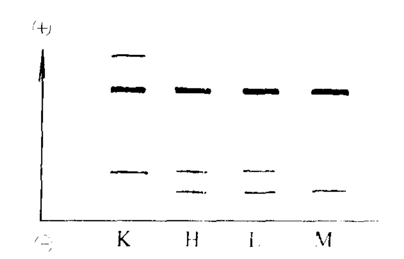


图4-18 EST同工酶在白鱀豚组织中的表达
Fig. 4-18 Expression of the EST isozymes in tissues of *Lipotes vexillifer*

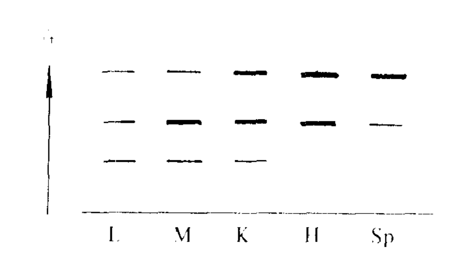


图4-19 ADH同工酶在白鱀豚组织中的表达
Fig. 4-19 Expression of the ADH isozymes in tissues of *Lipotes vexillifer*

(9) 醇脱氢酶(ADH,EC1.1.1.1) 白鱀豚ADH同工酶的电泳图谱(图4-19)为:肾具3条ADH同工酶酶带,其中αα和αβ带活性较强,ββ带活性较弱,心肌和脾的ADH同工酶仅具2条活性较强的酶带αα和αβ带;骨骼肌的ADH酶谱为3条带;αβ带活力较强,αα和ββ带活力较弱。

白鱀豚肝脏ADH同工酶酶谱和江豚的相似,相当于人类新生儿肝脏ADH同工酶酶谱,仅具有3条活力很微弱的酶带αα,αβ和ββ带。鉴于很多学者认为哺乳类肝脏ADH同工酶在其视觉的化学循环过程中起重要作用,可以认为白鱀豚和江豚一样视觉功能是较差的。

参 考 文 献

刘仁俊、林克杰,1982,白鱀豚的外伤治疗,海洋与湖沼,13(6):548—552。

刘仁俊、马建新、赵庆中、张永珍,1992,白鱀豚心电图的初步研究,水生生物学报,16(4):304—309。

陈道权、官之梅,1985,白鱀豚血液有形成分,动物学杂志,6:8—11。

陈道权、官之梅,1987,白鱀豚某些血液生化指标的测定,水生生物学报,11(4):371—374。

陈敏容、陈道权、官之梅,1986,白鱀豚核型的初步研究,水生生物学报,10(3):290—292。

陈敏容、刘汉勤、官之梅、陈道权,1996,白鱀豚的核型及其C-带的研究,水生生物学报,20(2):138—143。

陈帆,白鱀豚和江豚染色体带型及白鱀豚DNA的碱基组成的研究,研究生毕业论文。

陈少莲,刘肖芳,1986,白鱀豚肌肉生化成分分析初报,水生生物学报,10(4):386—387。

邹玉珍等,1984,白鱀豚额隆油、下颌油及皮脂油的脂肪酸组成,兽类学报,4(4):247—255。

邹玉珍、蔡琬平、顾生明,1982,白鱀豚额隆油的研究,兽类学报,2(1):19—27。

陆佩洪、杨利寿,1980,白鱀豚和某些海豚体内油脂性质的比较研究,动物学报,26(4):306—314。

沈均贤、关力,1981,白鱀豚的心电图,《科学通报》,(9):561—563。

官之梅,1985,白鱀豚血红蛋白电泳的相对迁移率,动物学杂志,20(50):13—15。

官之梅,1991,白鱀豚某些功能蛋白的电泳特性,第四次中国海洋湖沼科学会议论文集,191—197。

露木英男、伊藤真吾,1974,淡水イルカの脂質,ラプラタカワイルカおよびアスゾンカワイルカ學術調査報告,東京大學淡水イルカ學術調査隊,68—74。

Ackman, R. G., Faton,C. A. and Litchfeld,C., 1971, Composition of wax esters triglycerides and diacyl glyceryl ethers in the jaw and blubber fats of the Amazon river dolphin(*Inia geoffrensis*), Lipids, 6:69—77.

Arnason, U. , 1969, The karyotype of the fin whale, Hereditas, 62 : 273—284.

Arnason, U. , 1972, The role of chromosomal rearrangement in mammalian specification with special reference to Cetacea and Pinnipedia Ibid. , 70 : 113—118.

Arnason, U. and Benirschke, K. , 1973, Karyotypes and ideograms of sperm and pygmy sperm whales, Hereditas, 75 : 67—74.

Arnason, U. , 1974, *Comparative chromosome studies in Cetacea*, Hereditas 77 : 1—36.

Arnason, U. , 1977, Banded karyotypes of three whales : *Mesoplodon europaeus*, *M. Carhubbsi* and *Balaenoptera acutorostrata*, Hereditas, 87 : 187—200.

Arnason, U. , 1981, Location of NORs in Cetacean karyotypes, Hereditas, 95 : 269—275.

Arnason, A. and Sigurdsson, J. H. , 1982, An electrophoretic study of protein and enzyme markers of the blood in three species of whale : *Balaenoptera physalus*, *B. borealis* and *Physeter maerocephalus*, Rep. Int. whal. Commn. , 33 : 745.

De Stefano, G. F. *et al.* , 1986, Hum Genet. , 72 : 268—271.

De Monte, T. and Pilleri, G. , 1971, Relative mobility of the hemoglobin in the Family Platanistidae, Invs. on Cetacea. , 3 : 46—50.

De Monte, T. and Pilleri, G. , 1979, Cetacean Hematology II. the blood cells, Investigations on Cetacea, 10 : 289—306.

Duffieid, D. A. , 1977, Phylokaryotypic evaluation of the Cetacea, Ph. D. Thesis of California, Los Angeles.

Eichelberger, Y. L. , Fletcher, E. and Geiling, E. M. K. , 1939, Muscle and blood hemoglobin in the dolphin, Science, 90 : 443.

Garman, R. H. , Nuzzi, M. J. and Cerzei, J. N. , 1983, *Cutaneous gout in an Amazon dolphin*, J. A. V. M. A. , 183 : 1292—1294.

Jarrell, G. H. , 1979, Karyotype of the bowhead whale (*Balaena mysticetus*), J. Mammal, 60 : 607—610.

Litchfield, C. and Greenberg, A. J. , 1974, Comparative lipid patterns in the melon fats of dolphin, porpoises and toothed whales. Biochem. Physio. , 47B, 401—407.

Levan, A. , Fredga, K. and Sandberg, A. A. , 1964, Nomenclature for centrometic position on chromosomes, Hereditas, 52 : 201—220.

Makino, 1948, The chromsomes of Dall's *Porpoise phocoenoides* Dallii (TRUE), with remarks on the phylogentic relation of the cetacea, Chromosoma, 3 : 220—231.

Makino, S, 1948, The chromosomes of Dall's *Porpoise phocoenoides* Dalli (TRUE), with remarks on the phylogenetic relation of the cetacea, Chromosoma, 3 : 220—231.

Morris, R. J. , 1973, The lipid structure of the spermaceti organ of the sperm whale (*Physeter catodon*), Deep-sea Res. , 20 : 911—916.

Medway, W. and Geraci, J. R. , 1965, Blood chemistry of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*), Ibid. , 209(1) : 169—172.

Medway, W. and Moldovan, F. , Geraci, 1966, Blood studies on the north Atlantic pilot(pothead) whale, *Globicephala melaena* (Traill, 1809), Physiol. Zool. , 39 : 110—116.

Ridgway, S. H. , Patton, G. S. and Gilmartin, W. G. , 1970, Hematological findings in certain small cetaceans, J. V. M. A. , 157 : 566—575.

Ridgway, S. H. , 1972, Mammals of the sea. Ch. C. Thomas, Springfield, Illinois, 665.

Slijper, E. I. , 1936, Die cetacean, Vergleichend-anatonisch und systematish, Capital Zool. , 7 : 1—590.

Tsuyuki, H. and Shingo, I. , 1971, Fatty acid components of Ganges river dolphin oil, Sci. Rep. Whales Res. Inst. , 23 : 141—147.

Tsuyuki, H. and Shingo, I. , 1972, Fatty acid components of various blubber oil of Ganges river dolphin, Sci. Rep. Whales Res. Inst. , 24 : 117—125.

Walen, K. H. and Madin, S. H. , 1965, Comparative chromosome analyses of the bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*) and the pilot whale (*Globicephala scammoni*), Am. Nature, 99 : 349—354.

Van Valen, L. , 1968, Monophyly or diphyly in the origin of whales, Evolution, 22 : 27—41.

Van Ros, G. et, Van Sande, M. 1965, La comparaison des hémoglobines par électrophorese de zone en milieux gelifiés et son intérêt en systematique, Bull. Soc. Roy. Zool. Anvers, 35 : 19—64.

Walen, K. H. and Madin, S. H. , 1965, Comparative chromosome analyses of the bottlenosed dolphin(*Tursiop truncatus*) and the pilot whale(*Globicephala scammoni*), Am. Nature, 99 : 349—354.

Zakharov, A. F. , 1982, Hum Genet. , 60(1) : 24—31.

第五章　白鱀豚种群生态学

根据历史记载，参考化石资料，有理由认为：白鱀豚过去曾是广泛分布、数量较多的一个物种。由于人类活动的影响导致白鱀豚栖息环境的变迁、活动范围的缩小、食物资源下降等外界因素发生变化，加之白鱀豚自身内在因素的某些缺陷，如种群繁殖率低、视力退化、声功能稍差等原因，致使白鱀豚种群数量日趋稀少，现已到了灭绝的边缘，其分布范围亦日趋缩小，变得十分有限了

自1978年以来的10多年间，既是白鱀豚种群状况急剧恶化的10多年，亦是白鱀豚种群生态学从无到有、逐渐深入的10多年。中国科学院水生生物研究所科研人员花了大量精力与物力，组织了数十次的长江中下游白鱀豚生态考察。从时间上说，有全年性的也有季节性的考察；从方法上说，有流动性的也有定点的观察；从技术上说，从开始使用一般大调查船江面搜索，到后来使用一船带多只小船作放射性扩大视野搜索观察，还采用照相识别法，进一步摸清了白鱀豚种群活动规律（表5-1）。根据调查研究分析，白鱀豚目前的分布范围大约为长江江阴至荆沙江段，长约1 400km。白鱀豚的种群数量估计不足100头，岌岌可危。人类活动对白鱀豚的影响仍在加剧，白鱀豚数量还在下降。有关白鱀豚的抢救与保护对策已经出台，据信，保护白鱀豚的最后机会寄希望于建立长江天鹅洲白鱀豚半自然保护区（图版XXV，A、B、D）。

表5-1　1979—1995年白鱀豚生态考察情况一览表

Table 5-1　The ecological investigation of *Lipotes vexillifer* in 1979—1995

时间 Time	次数 Number of times	考察江段 Survey sections	调查方法 Survey method	调查内容 Survey content	主要结果 Result	作者 Authors
1979.5	2	武汉至城陵矶；太阳洲至南京	一艘船流动调查	白鱀豚在长江中下游的分布、数量和白鱀豚活动区的环境条件	观察到5个群体，19头豚（陈等）3—6个群体，10头豚（周等）	陈佩薰等，1980；周开亚等，1980
1979—1981	6	南京至贵池	一艘船流动调查	白鱀豚在长江下游的分布和数量	观察到3—6个群体，约10头豚，0.12—0.24头/km。推测整个长江中下游白鱀豚的种群数量约400头	周开亚等，1980
1978.12—1983.1	9	宜昌至南通	一艘船流动调查（水生一号、二号，科湖号）	白鱀豚在长江中下游的分布、数量及其栖息地的环境条件	推算出长江中下游约有20个群体，总数量不少于156头	林克杰等，1985
1984—1986	6	洪湖江段 安庆江段 宜昌至江阴	定点调查；2—4艘小机动木船 冬春连续两次全江段多船流动考察	白鱀豚栖息活动区的水文特点、白鱀豚群体活动迁移规律及白鱀豚种群数量和分布	估算出长江中下游约有42个群体，种群数量约为300头左右	陈佩薰等，1987，1989

(续表 5-1)

时间 Time	次数 Number of times	考察江段 Survey sectims	调查方法 Survey method	调查内容 Survey content	主要结果 Result	作者 Authors
1979—1986	18 航次	长江口至湖口	1 条大船或小船	白鳘豚种群数量和分布	估计长江下游分布有 11 个群体,约 100 头豚	周开亚等,1989
1987—1990	12	宜昌至崇明	定点与流动相结合;全江段考察时采用"科考一号"船带 4—6 艘机动小木船;统一记录表格,要求工作规范	1. 监测白鳘豚数量变动趋势; 2. 白鳘豚的活动、行为及群体规模; 3. 长江中下游水域环境状况:渔业生产及渔获量统计,运输船只密度,水禽种类及数量; 4. 河道洲滩变化与白鳘豚群体活动的关系; 5. 尝试使用照相识别法,摸清白鳘豚活动规律; 6. 三峡工程对白鳘豚影响的评价	1. 累计观察到豚 108 头次,推测白鳘豚的种群数量不足 200 头; 2. 开始积累野外白鳘豚照片,用于照相识别; 3. 分别统计出中、下游运输船只动态密度; 4. 定性、定量评价了三峡工程对白鳘豚的影响并提出保护对策	陈佩薰等,1993; Hua Yuanyu *et al.*, 1989
1989—1991	5	湖口至镇江	多船流动、照相识别	考察下游的白鳘豚数量及白鳘豚的迁移	计数 29 头,成功识别 7 头。估算湖口至镇江段的数量为 30 头,并据此推测全江段约 120 头。白鳘豚群体迁移速度约为 33km/天,迄今记录到迁移距离最长为 300km	周开亚等,1993 华元渝等,1994
1990—1991	?	宜昌至镇江	多船流动考察	白鳘豚数量监测及数量锐减原因分析	推测宜昌至城陵矶段、洪湖段、安徽官洲至黑沙洲段共长约 800km 内,1991 年较 1986 年减少 104—106 头,年递减率为 14.66—14.84%	华元渝等,1993
1991—1995	13	宜昌至长江口	多船流动考察	白鳘豚种群数量监测、活捕白鳘豚;江豚种群数量考察及监测	观察到白鳘豚 46 头次;估计江豚种群数量约 2 700 头	张先锋等,1993

一、长江的自然环境

1. 地理及河床特征

长江是中国第一大河流,全长 6 300 余 km。从长度而言,长江在世界上仅次于非洲的尼罗河和南美洲的亚马孙河,居第三位。长江发源于"世界屋脊"——青藏高原的唐古拉山脉主峰各拉丹冬雪山南侧。源头冰川起始于北纬 33°28′,东经 91°08′。长江干流流经青海、西藏、四川、云南、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海等 10 个省、直辖市、自治区,于上海崇明以东注入东海。长江干流自西而东,横贯中国中部。数百条支流辐射南北,延伸至贵州、甘肃、陕西、河南、浙江、广西、福建、广东等 8 个省、自治区,整个长江流域面积超过 180 万 km^2,几乎占中国土地总面积的 1/5。长江年平均入海径流总量近 10 000 亿 m^3,约占全国河流径流总量 26 380 亿 m^3 的 37%,为黄河的 20 倍。从水量而言,在世界上仅次于南美洲的亚马孙河和非洲的刚果河(扎伊尔河),也居第三位。

长江干流从源头至入海口各段都有不同的名称,其各江段名和别名总计不下 30 余

种。一般常用的分段名称为：从江源至当曲口(藏语“曲”即河)段,长358km,称沱沱河,为长江正源。当曲口至青海玉树县境的巴塘河口段,长813km,称通天河。巴塘河口至四川宜宾市岷江口段,长2 308km,称金沙江。岷江口至长江入海口段,长2 800余km,通称长江。其中四川宜宾至湖北宜昌,因大部分流经四川境内,俗称川江；湖北枝江到洞庭湖口处的湖南城陵矶,因流经古荆州地区,俗称荆江；江苏扬州、镇江附近及以下江段,因古有扬子津渡口,得名扬子江。国外有不少国家还常把整条长江通称为扬子江。

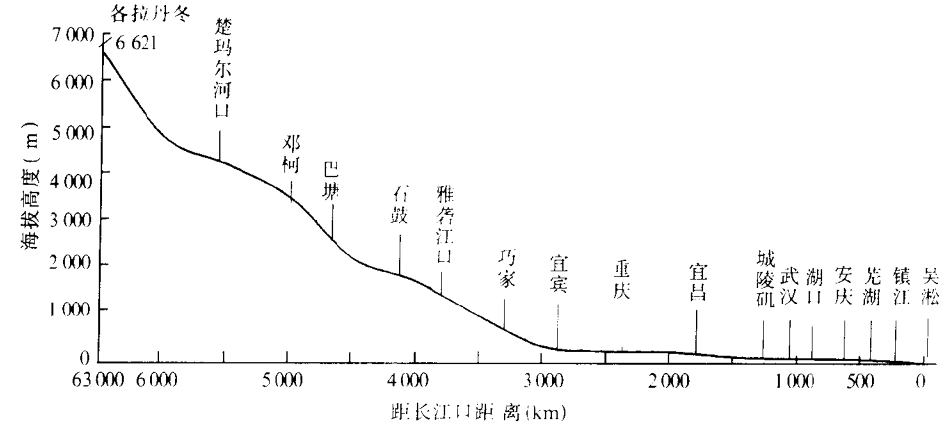


图5-1 长江干流剖面示意图(仿石铭鼎等,1989)

Fig. 5-1 The Longitudinal section of main stream of the Yangtze River

根据长江河床的形态特征,可以宜昌为分界点,分成上、下两段。宜昌以上流经高原、丘陵、峡谷,河谷狭窄,比降陡削。河床多为石质,侵蚀作用突出；宜昌以下,流经平原,河谷宽广,比降缓和,水流缓慢,沉积作用显著,造成沿江冲积平原。习惯上,人们把江源到湖北宜昌一段划为长江上游,长4 512km；宜昌至江西湖口一段划为长江中游,长938km；湖口到长江口一段划为长江下游,长约835km。长江上、中、下游又可分为若干段,各段的地理特征各有特色。

(1) 江源　长江源头地区深入青藏高原腹部,西为藏北羌塘内陆湖区,北为昆仑山和柴达木盆地,南为唐古拉山。昆仑山与唐古拉山海拔在6 000m以上,终年积雪。江源地区较大的河流自北向南有楚玛尔河、沱沱河、尕尔曲、布曲和当曲。除楚玛尔河发源于西北部可可西里山东麓外,其余4条均发源于唐古拉山北麓,逐渐汇集成为通天河。

目前倾向性地认为,沱沱河为长江正源。江源地区均为雪山、冰川所覆盖。江源水系诸河均流经多年冻土区,冬季地面冻结,夏季仅表层融溶,除局部山区河段因比降较大,河流下切稍强外,大部分河段位于高平原上的构造盆地中,比降小,流速慢,又受冻土影响,河流以侧蚀为主,因此,普遍具有河槽浅宽,水流游荡不定,汊流十分发育的特点。

(2) 通天河　通天河的楚玛尔河口以上的河段,仍属长江江源高平原区,两岸地形起伏平缓,河谷除局部呈“V”字形外,均为宽浅梯形,宽度在500—3 000m左右。河槽中有许多沙洲,水流散漫,河漫滩均为砾石覆盖,分叉甚多,有时七八股水流交织成网,形如发辫。楚玛尔河口以下,逐渐由高平原宽谷向高山狭谷过渡,分汊减少,河床呈“V”型与“U”型相间,水面宽50—200m,水深增加。

(3) 金沙江　金沙江流域地处青藏高原和滇北高原,属新构造运动强烈上升或较

强烈上升区，地壳运动剧烈。复杂的地质构造和巨大的断裂褶皱，对金沙江干支流的形成发育和河流走向具有重要的控制作用。河宽一般仅100—200m，窄处50—100m，河面和两岸的山峰高差达1 000—2 000m，河谷坡度一般35—45度，有的达60—70度。呈典型的"V"型河床。此段长度2 308km，落差达4 800m以上，平均每km落差达2m左右。

(4) 川江　川江宜宾至江津段，流经四川盆地南缘，地质上处于宽广的复向斜构造区内，江面宽500—800m。沿河阶地发育，两岸为起伏平缓的丘陵。江津以下河段，进入盆东平行岭谷区。川江在这里形成一系列小型峡谷，最窄处仅宽250m，最宽处达1 500m，涪陵以下，河谷较顺直。奉节以下，通称为长江三峡，全长约200km。此段流经致密的碳酸岩层，峡谷壁常常高达500m左右，江面收缩，一般宽250—350m，最狭处仅140m。河床刻蚀严重，以致洪水期水深可达110m，江底低于海平面45m。三峡地段由于山岭纵横，起伏不断，河床或为山脊横突，水流受阻，汹涌澎湃，或为峭壁上的岩石所壅积，流态紊乱，水流湍急，最大流速达7m/s。三峡江段是我国主要养殖鱼类中四大家鱼最大的天然产卵场。

(5) 长江中游　长江自出三峡到宜昌以下后，进入中游河段。其中，宜昌至枝城的67km河段为长江自三峡峡谷至中游冲积平原的过渡江段。河道微弯，两岸属白垩纪第三系的红色碎屑岩丘陵，谷深100—150m，河床宽数百米，河漫滩狭窄，弯曲处有边滩、心滩出露，河道变化稳定，属单一微弯型河道。

随后的荆江段，从湖北的枝城到湖南的城陵矶，两地的直线距离仅184km，而这一河段的长度却有338km(石铭鼎等，1989)。由于江流的侧蚀作用，水道极不稳定，河流比降小，水流缓，常造成一边切割，一边堆积成沙洲，使河道弯弯曲曲，俗有"九曲回肠"之称，属典型的蜿蜒型河道。由于荆江段自由河曲极为发达，横向摆幅达20—40km，河湾曲折率为3—5，多为复式河弯，经常发生撇湾切滩的自然裁弯。仅百余年来，就曾发生自然裁弯10余次。最近的两次为1972年发生的石首市天鹅洲(沙滩子)自然裁湾，1994年发生的石首市向家台自然裁湾。裁湾发生后，江水从河曲颈部通过，成为新河，老河道上下口门逐渐淤塞，形成牛轭湖或长江故道。这一带两岸分布了许多牛轭湖，其中天鹅洲(沙滩子)故道已被批准并正在建设成为国家级的白鳖豚自然保护区。

中游江段另一大特点是支流集中，湖泊众多。中游段纳入的大支流有汉江，洞庭湖水系的湘江、资水、沅江、澧水及鄱阳湖水系的赣江、信江、抚河、修水等。江汉平原古时曾是湖泊、沼泽和河网遍布的云梦泽，最盛时期约有大小湖泊26 000km^2。目前，湖泊面积仅约2 700 km^2。这些湖泊中，较大的洞庭湖枯水期水面仅1 000 km^2左右。洞庭湖实际上是长江的一个天然水库，起着蓄洪拦沙的作用。目前，这种调蓄作用正在降低。除洞庭湖外，在湖北沿江分布100 km^2以上湖泊也有多个。

鄱阳湖是长江中游的另一巨型天然水库，湖面3 840 km^2(湖口水位21m时)，为我国第一大淡水湖。其地势略高于长江，在平水期，长江水不能进入湖内。汛期长江水位增高，江水倒灌入湖，湖中可容纳长江的部分洪水，对长江下游的防洪有一定调蓄作用。

中游从城陵矶开始，河床由荆江的蜿蜒型演变为藕节状河段，属分汊型。这一段河道有多个"矶头"，相隔10—20km，成为控制河床变化的"节点"。当岸边有矶头"节点"时，河床紧束，江水汇成一股；越过矶头"节点"，河床展宽，江心洲滩出露，水流分汊，如此一束一放，宽狭相间，形成藕节状河床。

(6) 长江下游　从江西湖口至长江口，全长约835km。水流更平缓，没有更多的支流汇入，流量变化不大。其中，湖口至江苏的江阴段仍为藕节状河段。江阴至长江口段长约200km，形似一个喇叭口形的，宽大的三角河段，称为长江河口段，长江江阴段宽约1.4km，而长江口的宽度达91km。此段流经的地面高程不到10m，江流浩荡，河床比降甚小，流速平缓，加上受海潮顶托影响，从长江上游挟带来的大量泥沙在河口附近沉积成沙洲和沙坝，在两岸形成沙嘴，由于潮汐的作用，海水每昼夜有两次向长江倒灌，迫使江水上涌，倒流、海水倒灌使河口段经常保持较高的水位，同时也大大削弱了长江水流速度。这一带偶有海豚随倒灌的海水进入长江的记载。

2. 水文气象特征

考虑到白鱀豚仅分布于宜昌以下的长江中下游江段，此处着重讨论长江中下游水文、气象特征。

(1) 流量、输沙量、水位与流速　长江径流除部分由冰雪融水、地下水补给外，主要由降水形成，因此，长江枯水和洪水的季节变化基本上与降水的时空规律一致。一般5月进入汛期，7—9月进入洪水期或丰水期，8月流量最大，至10月逐渐消退，转入枯水期。枯水期为12月到3月，3月份流量最小(表5-2)。

表5-2　长江中下游干流年、月均流量

Table 5-2　The annual and monthly mean rate of flow in middle and lower reaches of the Yangtze River

江段 Sections	距长江口距离 The distant from mouth of Yangtze (km)	年均流量 Annual mean rate of flow (亿 m^3)	月流量(m^3/s) Monthly mean rate of flow		
			月最小值	月均值	月最大值
宜昌 Yichang	1 700	4 384	2 770	14 300	71 100
武汉 Wuhan	1 040	7 150	3 770	23 800	76 100
大通 Datong	655	8 956	4 620	29 000	92 600

长江含沙量每 m^3 江水中平均不足1kg，泥沙绝大部分来自长江上游，多年监测结果的年平均数为(kg/m^3)宜昌1.21；城陵矶0.17，湖口0.07，大通0.53(唐日长，1985)。

水位的涨落与流量的增减是一致的，流量增加，水位升高，反之亦然。长江干流水位最高为汛期的7—9月，低水位为枯水期的12月到翌年3月。上游河槽狭窄，水位涨落幅度大；中下游河槽宽阔，涨落平缓。根据多年统计，宜昌年平均水位44.4m，变幅为38.9—55.9m。武汉年平均水位19.2m，变幅为10.1—29.7m，大通年平均水位8.6m，变幅为3.1—16.6m。

长江中下游的江面宽阔，江流迂回，比降平均为0.24%，平均流速为1m/s左右。但不同的江段，由于河槽形态和比降的大小不同，流速差别较大。不同的季节，流速与流量一般成正比(国家环保局等，1990)。

(2) 气候特征及水温　长江中下游属北亚热带湿润的季风气候，是东亚季风盛行的地区，其显著的气候特点主要是：水热同季，湿润多雨；冬冷夏热，四季分明。

长江中下游年日照总时数约 1 300—1 600 h，年总辐射量 3 300—5 000MJ/m²。年平均气温在 14—19℃之间。无霜期在 240—275 日之间。最冷的月份出现在 1 月，月平均气温 0—8℃，最热的月份出现在 7 月，月平均气温 27—30℃。春季月平均气温 13—19℃，秋季月平均气温 16—20℃。长江中下游气温年较差在 20—27℃之间。长江中下游地区年平均地面温度在 16—22℃之间，比年平均气温高约 2℃。长江中下游地区雨量丰富，年雨日在 130 天左右。平均降雨量在 1 100—1 200mm 之间。风速一般为 2.5—3.0m/s。年平均相对湿度 75%—82%。年蒸发量约在 1 400mm 左右。长江水温与气温的变化相互对应，但升降较平缓，时间稍滞后(表 5-3)。

表 5-3 长江中下游干流月平均水温(℃)(1984 年长江水利委员会测)

Table 5-3 The mean monthly water temperature of main stream of the Yangtze River

测站	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最高(月/日)	最低(月/日)	年平均
宜昌 Yichang	8.8	8.0	11.7	17.3	21.0	23.8	24.3	25.7	22.9	19.1	16.9	11.6	26.4 (6/25)	7.4 (2/11)	17.6
武汉 Wuhan	6.1	5.6	9.6	16.6	20.6	25.4	26.1	28.0	24.3	18.6	15.6	8.3	29.1 (8/8)	4.1 (2/2)	17.1
大通 Datong	5.2	4.3	9.4	15.9	20.8	25.1	27.5	28.0	25.1	19.7	16.3	8.7	30.0 (8/12)	2.2 (2/8)	17.2

3. 水质理化特征

除前面提到的水温外，其他理化因子亦构成了长江中下游干流重要的非生物环境。长江水利委员会 1984 年测得的部分资料，基本上反映长江中下游干流的水质理化特征。

表 5-4 长江中下游干流水质分析结果(1984 年长江水利委员会测)

Table 5-4 The result of water quality analysis in middle and lower reaches of the Yangtze River

类别 Classifications	宜昌 Yichang		武汉 Wuhan		大通 Datong	
	冬季(2 月) Winter	夏季(7 月) Summer	冬季(2 月) Winter	夏季(7 月) Summer	冬季(2 月) Winter	夏季(7 月) Summer
水温(℃) Water temperature	7.9	24.6	5.0	26.1	4.7	26.9
透明度(cm) Transparency	117	5	23	12	25	8
色度(度) Color	4	14	8	5	5	10
溶解氧(mg/L) Dissolved oxyen	11.1	8.6	12.3	6.5	10.6	6.4
pH 值	8.2	7.8	7.9	7.8	7.8	8.2
Ca^{2+}	50.3	31.3	42.9	35.3	37.9	33.7
Mg^{2+}	7.4	7.3	9.4	6.1	7.4	7.3
$K^{+}+Na^{+}$	14.5	11.8	5.5	3.3	5.0	1.5
HCO_3^-	174	128	158	126	137	120

(续表 5-4)

类别 Classfications	宜昌 Yichang		武汉 Wuhan		大通 Datong	
	冬季(2月) Winter	夏季(7月) Summer	冬季(2月) Winter	夏季(7月) Summer	冬季(2月) Winter	夏季(7月) Summer
CO_3^{2-}	0	0	0	0	0	0
SO_4^{2-}	20.2	14.9	19.7	13.0	12.0	15.4
Cl^-	13.5	7.8	5.3	2.8	6.0	2.1
矿化度(mol/L) Mineralization	7.4	5.26	6.26	4.78	5.40	4.68
总碱度(德国度) Alkalinity	7.99	5.86	7.26	5.80	6.31	5.50
总硬度(德国度) Hardness	8.75	6.06	8.16	6.34	7.01	6.39
耗氧量(mg/L) Oxidizability	0.7	1.1	1.6	1.4	1.4	2.0
NH_4^+(mg/L)	0.020	0.100	0.250	0.230	0.700	0.100
NO_2^-(mg/L)	0.082	0.018	0.044	0.012	0.048	0.012
NO_3^-(mg/L)	1.08	1.44	1.60	3.00	1.60	1.70
Fe(mg/L)	0.072	0.140	0.028	0.044		
Fe^{3+}(mg/L)	0.040	0.080	0.020	0.028	0.008	0.008
Fe^{2+}(mg/L)	0.032	0.060	0.008	0.016	0.008	0.004
P_2O_5(mg/L)	0.006	0.010	0.016	0.006	0.004	0.008
SiO_2(mg/L)	5.2	7.2	6.0	6.0	6.0	5.0

(1) 透明度与色度　中游透明度略高于下游,冬季高于夏季。而色度的趋势大致与此相反。

(2) 溶解氧　长江干流溶氧充足,一般接近饱和状态。冬季由于水温较低,溶氧明显高于夏季。

(3) pH 值　pH 呈微碱性,对鱼类及其饵料生物生长有利。

(4) 化学耗氧量　下游略高于中游。

(5) 氯化物　中游略高于下游(长江口除外),冬季高于夏季。

(6) 总硬度、总碱度　硬度、碱度适中,长江干流属中等软水。

(7) 营养元素　长江干流氮磷等营养元素含量适中,三氮的含量下游高于中游。

按阿列金分类法,长江中下游干流水质为 $C_{II}Ca$ 类型。

4. 水生生物特征

长江干流的水生生物包括浮游生物、底栖生物、挺水生物、周丛生物和漂浮生物五大类,而构成长江干流的流水环境中的水生生物主要是前两类,包括浮游植物、浮游动物和底栖动物。

(1) 浮游植物　在长江中游植物(主要指浮游藻类)的种类和数量均较丰富,共有

108 个属。其中硅藻 25 个属，金藻 8 个属，甲藻 6 个属，绿藻 54 个属，蓝藻 12 个属，裸藻 3 个属。各类浮游植物在长江干流中的数量和生物量见表 5-5。

（2）浮游动物　　长江干流浮游动物丰富，原生动物有 23 个属，轮虫有 24 个属，枝角类有 15 个属，桡足类有 9 个属，其数量及生物量列于表 5-6。

表 5-5　长江干流水体浮游植物的数量和生物量（个/L；g/L）

Table 5-5　The abundance and biomass of phytoplankton in main stream of the Yangtze River

	中下游干流[1]（宜昌至大通）	%	上游江湾[2]（重庆至三峡）	%
硅　藻	76 683；0.818	54.94；18.05	1 014 800；7.8983	91.61；95.00
金　藻	35 117；0.0102	25.16；2.25	25 648；0.0049	2.38；0.06
甲　藻	8 958；0.3165	6.42；69.82	53 212；0.3836	4.80；4.61
绿　藻	8 242；0.0292	5.91；6.44	4 838；0.0006	0.44；0.01
蓝　藻	7 167；0.0100	5.13；2.21	8 600；0.0262	0.77；0.32
裸　藻	3 404；0.0056	2.44；1.24	–	–
总　计	139 571；0.4533		1 107 098；8.3135	

1）引自《长江鱼类》；2）王骥、梁彦龄，1988，长江中游（武汉江段）浮游藻类的季节动态。长江流域资源、生态、环境与经济开发研究论文集，1：258—265。

表 5-6　长江干流浮游动物数量及生物量（个/m^3；mg/m^3）

Table 5-6　The abundance and biomass of zooplankton in main stream of the Yangtze River

	中下游干流	%	上游江湾	%
轮　虫	2 495.24；1.26	37.18；0.48	1 216.67；0.57	33.04；1.28
枝角类	280.95；4.69	4.19；1.8	233.33；0.75	6.33；1.69
桡足类	3 095.24；229.52	46.13；88.27	566.67；28.33	15.40；63.82
介形类	9.52；1.33	0.14；0.51	–	–
昆　虫	109.52；19.48	1.64；7.50	33.33；3.33	0.90；7.50
线虫、寡毛类、水蜘蛛软体动物	719.05；3.79	10.72；1.44	633.33；11.40	44.33；25.71
总　计	6 709.52；260.07		3683.33；44.39	

引自《长江鱼类》。

（3）底栖动物　　其种类及分布受环境条件影响大。长江干流中的底栖动物种类有软体动物 6 个种，昆虫 17 个种，甲壳动物 3 类，寡毛类 3 个科，以及线虫、水蜘蛛等，漂流底栖动物中双翅目和膜翅目占 43%，蜉蝣目占 19.8%，摇蚊科占 14.5%，毛翅目占 7.7%，襀翅目占 5.8%，鞘翅目占 4.8%，其他（如等足类、寡毛类、水蜘蛛等）占 3.4%。

5. 长江鱼类与渔业

长江鱼类已知 274 种（其中纯淡水鱼类 232 种，河口性鱼类 33 种，回游性鱼类 8 种），分别隶属于 37 个科，为全国淡水鱼类种类的 39%。鲤科鱼类占大多数，141 种，其次为鳅科、鮠科、平鳍鳅科，鰕虎鱼科等。主要经济鱼类有 60 多种。长江中下游鱼类的区系组成大致有以下几种复合体：

（1）中国江河平原鱼类区系复合体　　种类较多，不少为优势种，如青鱼、草鱼、鲢、

鳙、鳊、鲂、鳡，鳘，鲴等。

(2) 南方热带鱼类区系复合体　如乌鳢、鳝、胡子鲶、刺鳅、鮠科、鲃亚科、鰕虎鱼等。

(3) 古代第三纪鱼类区系复合体　如鲤、鲫、鲶、鳜、胭脂鱼、麦穗鱼、泥鳅等。

(4) 北方平原鱼类区系复合体　如长江鲟、中华鲟等。

长江中下游淡水渔业发达，中下游渔业总产量约为全流域的90%。据1983年长江中下游各省渔业统计，天然捕捞量最高的为江苏，42 042t，其次为江西32 661t，湖北28 699t，湖南28 252t，安徽26 408t等。由于过度捕捞、水质污染和建坝修闸等因素影响，淡水鱼天然捕捞量低于历史水平，仅占长江流域鱼产量的20%；目前，人工养殖鱼类的产量已占主导地位。

二、白鱀豚的地理分布

1. 历史分布

前文提到，我国古代文献早在1 600多年前就记述白鱀豚生活在长江中。此外，有关白鱀豚的分布，国外自本世纪以来亦有报道。Hoy(Miller, 1918; Hoy, 1923)根据其1914年冬天在洞庭湖探险时获得的一头标本，推测白鱀豚分布在洞庭湖及其附近的长江中。Pope(1940)认为，洞庭湖附近的长江是白鱀豚有限分布区的一端。Norman等(1948)认为，除洞庭湖及其附近外，其他地方从未发现过白鱀豚的分布。西协昌治(1965)认为，白鱀豚分布在洞庭湖内及与之相通的长江。50年代以来，我国对白鱀豚的分布有了进一步报道，周开亚(1958)报道了南京及上海发现的白鱀豚。随后，寿振黄等(1962)、康定星(1964)、邢湘臣(1965)、姚闻卿等(1974)、陈宜瑜等(1975)、周开亚等(1977)，又先后报道了长江湖北段和安徽段以及钱塘江、富春江段发现白鱀豚的情况。

2. 白鱀豚的分布范围

真正开始系统调查白鱀豚的分布情况是周开亚等(1977)于1974年对长江中下游、钱塘江上游、洞庭湖和鄱阳湖等处白鱀豚发现记录、捕获记录和标本收集的全面调查。周开亚详细访问了沿江(沿湖)的有关水产大队、捕捞队、水产局、水产公司、渔业社等渔民发现白鱀豚的记录以及有关大学、研究所、博物馆标本收藏情况。通过调查，基本了解了1940—1970年白鱀豚的分布情况。这一时段内，白鱀豚在长江干流上至三峡黄陵庙(距长江口约1 800km)下至长江口均有白鱀豚的分布。此外，洪水季节白鱀豚可进入洞庭湖，南洞庭湖区、鄱阳湖区也有发现，甚至在江西都昌县部分湖区可偶见白鱀豚。钱塘江上游的富阳段、桐庐段均有白鱀豚发现的记录。

由专业科研人员专门组队考察白鱀豚的分布情况始于1978年。当时，中国科学院水生生物研究所的科研人员使用“水生二号”考察船，从宜昌至上海作了生态考察，发现白鱀豚的分布范围上至湖北枝城，下达江苏太仓浏河口，全长约1 613km。1979年5月11—14日，陈佩薰等(1980)在长江中游武汉至岳阳江段的一次与瑞士伯尔尼大学大脑解剖研究所G. 皮莱里博士联合考察时，在洪湖—城陵矶段观察到5群共19头白鱀豚。差不多几乎是同时，周开亚等(1980)也与G. 皮莱里一道在长江下游南京—铜陵太阳洲段进行了白鱀豚考察。他们共观察到白鱀豚3—6群，共10头。

最初的考察，一般时间较短，覆盖江段有限，因此，所得到的结果往往难以对白鳖豚分布范围有一个全面的了解。为此，周开亚等(1982)、林克杰等(1985)、陈佩薰等(1987，1989，1993)、周开亚等(1989)报道了一系列白鳖豚考察的结果。这些考察覆盖了长江口至宜昌的长江中下游干流，洞庭湖区和鄱阳湖区。考察时间持续较长，有的甚至连续数月。在考察方法上，随着研究工作的深入，也由早期的单船考察，改为多船多角度考察、定点与流动相结合考察。考察手段上也由肉眼加望远镜的观察方式，发展到开始尝试照像个体识别方式。此外，研究人员还深入仔细地访问长年作业在长江的渔民，聘请渔民一道参加考察，指导渔民在渔业生产中如何观察记录白鳖豚的出现时间和地点，通过这些深入的研究，基本摸清了白鳖豚近年的分布范围及其变化情况(表 5-7，图 5-2)。

表 5-7　白鳖豚分布调查记录

Table 5-7　Records of *Lipotes vexillifer* distribution investigation

序号 No.	日期 Date	地点 Location	距长江口距离(km) Distance from the mouth	分布记录 Sighted records	观察者或单位 Observer
1	1940 年前后 Around 1940	黄陵庙段 Huanglingmiao	约 1 800 About 1 800	曾捕获 2 头 2 were caught	渔民 Fishermen
2	70 年代 1970s	宜昌段 Yichang	约 1 700 About 1 700	偶有发现 Found occasionally	渔民 Fishermen
3	1985—1987 年 1985—1987	枝城段 Zhicheng	1 613	数次发现 Found a few times	中国科学院水生生物研究所 IHB
4	1970—90 年代 1970—1990s	荆沙(沙市)段 Jingsha	1 520	常有发现 Found often	渔民、中国科学院水生生物研究所 Fishermen & IHB
5	1970—90 年代 1970—1990s	石首段 Shishou	1 420	常有发现 Found usually	渔民、保护区干部、中国科学院水生生物研究所 Fishermen, staff of the reserve & IHB
6	1910—90 年代 1910—1990s	城陵矶(洞庭湖口)段 Chenglingji (Mouth of Lake Dongting)	1 270	常有发现 Found usually	Hoy 等、中国科学院水生生物研究所 Hoy *et al*. & IHB
7	70 年代以前 Before 1970s	南洞庭湖 South part of Lake Dongting	—	汛期偶见 Found when flooding	渔民 Fishermen
8	1960—90 年代 1960—1990s	洪湖段 Honghu	1 220	常有发现 Found usually	康定星等、渔民、保护区干部、中国科学院水生生物研究所 Kang Dingxing *et al*., fishermen, staff of the reserve & IHB
9	1980—90 年代 1980—1990s	武汉段 Wuhan	1 040	常有发现 Found often	中国科学院水生生物研究所 IHB
10	1970—90 年代 1970—1990s	鄂州段 E'zhou	948	常有发现 Found often	中国科学院水生生物研究所 IHB
11	1970—90 年代 1970—1990s	湖口段(鄱阳湖口) Hukou (Mouth of Lake Poyang)	770	常有发现 Found usually	中国科学院水生生物研究所 IHB
12	1970—90 年代 1970—1990s	安庆段 Anqing	640	常有发现 Found usually	渔民，中国科学院水生生物研究所、南京师范大学、铜陵白鳖豚养护场 Fishermen, IHB, NNU & Tongling Baiji Reserve

(续表 5-7)

序号 No.	日期 Date	地点 Location	距长江口距离(km) Distance from the mouth	分布记录 Sighted records	观察者或单位 Observer
13	1960—90 年代 1960—1990s	铜陵段 Tongling	547	常有发现 Found usually	渔民,中国科学院水生生物研究所、南京师范大学、铜陵白暨豚养护场 Fishermen, IHB, NNU & Tongling Baiji Reserve
14	1970—90 年代 1970—1990s	芜湖段 Wuhu	444	常有发现 Found usually	渔民,中国科学院水生生物研究所、南京师范大学、铜陵白暨豚养护场 Fishermen, IHB, NNU & Tongling Baiji Reserve
15	50 年代—1991 年 1950s —1991	南京段 Nanjing	348	有发现 Found	南京师范大学、中国科学院水生生物研究所 NNU & IHB
16	60 年代—1991 年 1960s—1991	镇江段 Zhenjiang	265	有发现 Found	南京师范大学、中国科学院水生生物研究所 NNU & IHB
17	70 年代—1986 年 1970s—1986	江阴段 Jiangyin	158	有发现 Found	南京师范大学、中国科学院水生生物研究所 NNU & IHB
18	70 年代—1986 年 1970s—1986	浏河口段 Liuhekou	24	有发现 Found	渔民 Fishermen
19	1950—60 年代 1950—1960s	长江口 Mouth of the river	0	有发现 Found	渔民 Fishermen
20	1950—70 年代早期 1950—early 1970 s	钱塘江上游 Upper reaches of the Qiantang River	—	有发现 Found	渔民 Fishermen

IHB : Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences; NNU : Nanjing Normal University.

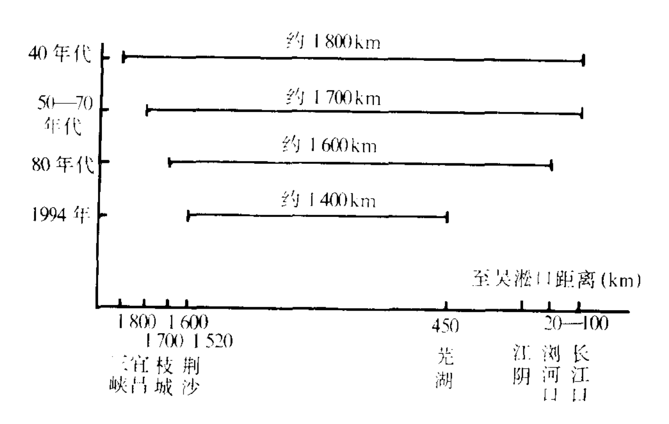


图 5-2　近 50 年来白暨豚在长江的分布范围

Fig. 5-2　Distrbution ranges of *Lipotes vexillifer* in the Yangtze in recent 50 years

综合分析这些研究结果,结合作者近年所做的工作,从表 5-7,图 5-2 中可看出两方面的情况：一方面白暨豚目前仅分布于长江中下游干流中,洞庭湖、鄱阳湖、钱塘江已不再有白暨豚的分布。另一方面,就长江干流而言,近年来,由于一系列因素,特别是人类活动的影

响，白鳖豚的分布范围，正在以惊人的速度变化和缩小。目前，很可能仅分布于江阴至荆沙段长约 1 400km 的长江中下游干流中。实际上，这里很难给出一个白鳖豚分布的“边界”或“上下限”，比方说，江阴以下江段也偶有发现白鳖豚的情况。图 5-2 给出的是一个白鳖豚分布范围的“动态”概念。很可能此书与读者见面时，白鳖豚的分布范围又进一步缩小了。

3. 白鳖豚的分布型式

在长江干流江阴至荆沙 1 400km 长的白鳖豚分布区中，有着一系列大大小小的白鳖豚栖息地，如支流、湖泊与长江的交汇处，洲滩附近、弯曲分叉河段等。这些白鳖豚的栖息地随着季节的变化，水位的涨落、河道变迁，也经常发生变化。因此，白鳖豚在长江干流中的分布是非均匀的。通过统计历年考察白鳖豚的发现率，发现率的概率分布为负二项式分布(negative binomial distribution)，说明白鳖豚在长江干流呈集群性分布。另一方面，白鳖豚在长江干流中呈现出一定的趋岸性。

三、白鳖豚的生活环境特征

白鳖豚喜欢栖息活动的水区，都是出现在长江边滩、江心洲附近以及主、岔流交汇处等地。从这里的生物环境来看，浅滩边沉积大量肥沃泥土，枯水期逐渐露出水面，其上生长着大量杂草和水生植物，洪水期又被江水淹没，为鱼类饵料生物创造良好环境。这里有机物丰富，浮游生物和周丛生物量较大，有些地方还有较多的软体动物、水生昆虫和甲壳动物，鱼类就在这里肥育，随之也吸引了白鳖豚群到此捕鱼及活动(图版 XXV，C)。

在长江干流特别是中游河道曲折迂回，沿岸有众多的湖泊和支流汇入，大大小小的边滩、江心洲有 100 多个，但有的水区为白鳖豚所喜好，常来常往，而有的则仅路过而不停留。通过我们长期观察分析，究其原因认为白鳖豚栖息活动的水区，除生物环境优越外，还有一个重要因素，即水文地理环境条件。根据 1983 年至 1985 年调查(华元渝等，1986；Hua *et al.*，1989)，在 172 次记录的分析中(表 5-8，9)，看到白鳖豚栖息活动水区中具备

表 5-8 白鳖豚在不同水区出现次数

Table 5-8 Numbers of observations of *Lipotes vexillifer* in different parts of the Yangtze river

水区名	夹堰水区 Boundary			撒网水区 Cast-net	逆流水区 Back-curr.	静水区 Still	主流水区 Main stream	缓流水区 Slow
流速(m/s)	0.2—0.5	0.5—0.8	0.8—1.0	0.1—0.3	0.3—0.7	0.0—0.3	0.8—2.0	0.2—0.5
水深(m) / 行为类型	4—6	5—9	8 以上	4—6	5—10	15 以上	10 以上	5 以上
摄食 Feeding	8↓←	17↑	6↑	2←	8←	4←	6↓	15←↑
求偶交配 Mating				3←				
抚幼 Mother/calf	8←	1↑		2←		7←		11←
歇息 Resting					2←	6←		
游动 Other	2↑	9↑	14↑		3←	5←	19↓	14←
累计次数 Total	16←↑ 2↑	27↑	20↑	7←	13←	22←	25↓	40←

注：↑表示白鳖豚向上游；↓向下游；←向四周游。

的水文地理特征，一般是流态稳定，流速缓慢。

由于长江水流永不停息的造床运动，使中下游于流床面上出现了边滩、矶头、尖咀、江心洲，这样江水在河床中的流动呈不均匀状态和不同的流速，而形成不同水文、地理特征的水区，仔细分析长江中下游大致可分为 12 种水区，这些水区相互间呈镶嵌分布。从多年来观察结果，看到白鳖豚喜欢栖息活动的水域，常见的水区有以下几种：

撒网水区(cast－net area)：位于回水区上游，水下为泥沙滩埂，水面呈现出像鱼网下沉时的水纹，此处水较浅，一般水深为 4—6m。

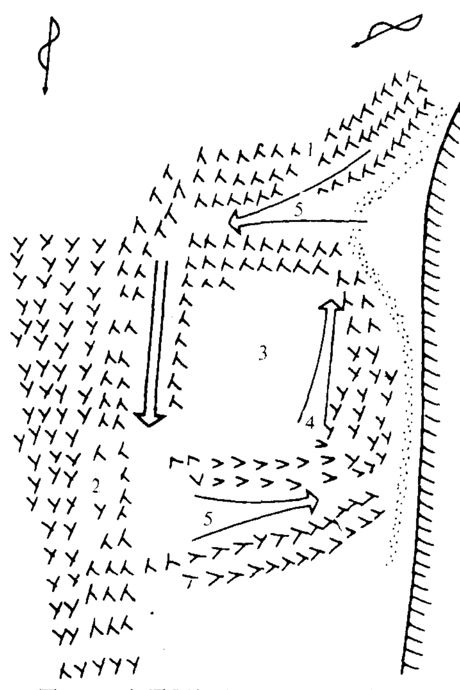


图 5-3　白鳖豚栖息地——大回水区特征（仿华元渝等，1989）

Fig. 5-3　The large return current eddy——habitat of *Lipotes vexillifer*

1. 撒网水区 Cast-net area；2. 夹堰水区 Boundary area；3. 静水区 Still-water area；4. 逆流水区 Back-current area；5. 横流水区 Cross-current area

夹堰水区(boundary area)：位于泥沙滩埂的夹端处，并斜向主流延伸，两种不同流速的水流在水面互相摩擦、撞击，呈现浪花或泡沫。水下为槽，其深度沿水流方向逐渐加深。

静水区(still－water area)：回水区中心，水下有向外侧倾斜的深槽，水流近于静止状态。

逆流水区(back－current area)：位于静水区内侧与岸之间，由于泥沙淤埂的阻流，出现负压，江水沿洲滩岸边倒流。

横流水区(cross－current area)：位于静水区的上下方。下方水流由夹堰水区斜向洲滩岸边，进入逆流水区，上方则相反，从洲滩岸边沿泥沙滩埂之下缘流向夹堰水区。

由以上这几种水区组成大回水区(图 5-3)，在长江中下游具备这些条件的大回水区较多，但并非所有的回水区均为白鳖豚所喜爱栖居。作为白鳖豚栖息活动区的回水区一般都比较大，而且处于弯曲江段和弯曲分叉江段的也略有不同。从 14 个白鳖豚栖息活动区资料分析，弯曲江段的夹堰水区短而宽，接连深槽。弯曲分叉河段的夹堰水区窄而长，呈喇叭状逐渐消失，其外侧伴有深槽及深潭。白鳖豚主要栖息活动区的水文特征见表 5-9。

表 5-9　白鳖豚主要栖息活动区的水文特征

Table 5-9　Hydrological conditions in the parts of the Yangtze river frequented by *Lipotes vexillifer*

河床特征 Type of river course	夹堰水区 Boundary area				静水区 Still water			撒网水区 Cast-net	河槽 Trough	深潭 Deep pool
	长 (m)	宽 (m)	深 (m)	流速 (m/s)	直径 (m)	深 (m)	流速 (m/s)	深 (m)	深 (m)	深 (m)
弯曲段 Meandering	大于 300	大于 60	大于 10	0.6—1.4	大于 50	大于 15	0—0.3	大于 4	大于 25	大于 15
弯曲分叉段 Multi-branched	大于 1 500	大于 30	大于 5	0.6—1.2	大于 30	大于 10	0—0.3	大于 4	大于 25	大于 20

四、群体活动规律

1. 集群

白鳖豚通常由数头至十余头组成一个群体，一般多为2—3头。根据多年观察记录到的最大群体为16—17头，群体中的个体有老年豚、壮年豚和幼豚，组成的数目除抚幼豚一大一小豚相对稳定外，其他群体组合数目经常发生变化。1986年3月18—31日的14天中，对湖北监利江段的一个群体，作跟踪详细观察记录，23次观察记录中，15次分为5、4二个小群，6次分为2、3、4三个小群，2次分为3、3、2、1四个小群。这种时分时合的状态是与它们的生活活动密切相关的。如遇到危险需要逃避时，就分散开来便于潜逃；若要迁移到另一水域便组成长队；若要捕食鱼类则集中围捕；若在静水区中嬉戏、游玩，则分散为三两成群。

1984—1989年在长江中游的不同地点，记录10次不同群体组成的头数及个体大小，2—4头组成一群的占70%，8、6、1的各一次，幼豚都必与大豚在一起活动。

2. 迁移

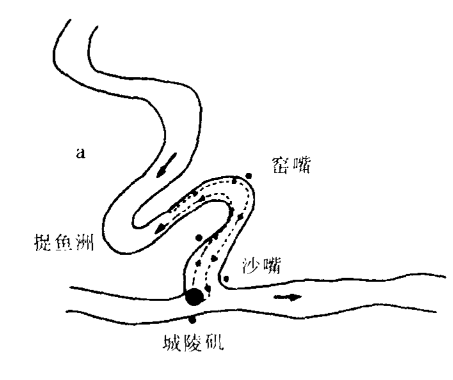
白鳖豚为了完成它们的生活史，需要进行觅食、生殖（交配、怀孕、产仔、抚幼）、玩耍、休息、越冬等活动，这些活动都要在特定的环境中完成，豚群则随着生活的需要，作短距离或长距离迁移，寻找适合它们的环境条件。白鳖豚群移动时，总是大个体豚（老年豚或成年豚）在前面开路；中间或是抚幼的一大一小豚，或是已能独立生活的幼豚；中等个体（青年豚）或大个体（壮年豚）尾随最后，以这种排列的队伍，从一个水区游到另一个水区。

迁移是沿着一定的路线游动的，从长江中游江段多年的考察中，看到白鳖豚迁移活动的规律性。一般来说，白鳖豚上行的路线多在3—5m水深的水道游动，这恰与航道部门设置的航标灯的地方靠近。据统计108头次白鳖豚的观察记录，有101次是上行的，占93.5%，这种上行活动大多为清晨至下午四时之间。白鳖豚下行多是沿主流游动，游速相当快，使人们难以跟踪。仅就观察到的7次中，都是在下午4时以后到6时。据此推测白鳖豚逆水上游活动都在白天进行，顺水下游活动多发生在黄昏或夜间。

我们曾在1986年3月份对监利江段一群9头个体的白鳖豚作了14天的跟踪观察和记录，可以说明白鳖豚作短距离活动的规律性。这个9头群体每天清晨从城陵矶附近的大深潭出发，沿着沙滩附近水深约5—6m的缓水区上行，在沙嘴大回水区停留活动，然后沿夹堰水区横渡至南岸，沿中、缓流水上行，一直到捉鱼洲、窑嘴和七弓岭对江的大回水区停留活动。在这些大回水区中的静水区、回水区和横流水区里摄食、嘻戏，在流速为0.0—0.3m/s的静水区休息。然后又绕过沙埂或泥埂进入撒网水区，继续沿中、缓流水上行。据观察在回水区活动时间少则半小时多到4—5h，直到黄昏开始沿主流顺水而下到深潭过夜（图5-4a）。

但1989年，由于河道变迁，城陵矶附近的大深潭被淤塞，捉鱼洲一带原有一纵向深槽已明显变浅变窄，荆江口沙嘴淤泥加重，沙嘴处边滩扩大，向江心伸延，荆河口下口变得比较狭窄。当我们再次作考察时，看到这一系列的水文地理的变化，导致城陵矶一带白鳖豚

的活动发生了很大变化，一方面是群体数量减少，另方面是群体迁移活动路线有所改变。清晨，白鳖豚沿北岸沙嘴边缘上行，绕过沙嘴后，不像过去一样过渡到南岸捉鱼洲一带，而是仍沿北岸靠近主流的缓流水区上行，直到靠近窑嘴时才横过到对江缓流水区，然后沿江南岸继续上行（图5-4，b）（陈佩薰等，1993）。



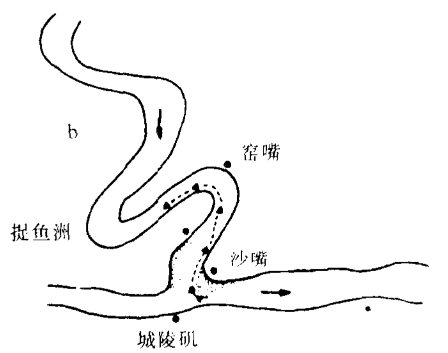


图5-4 城陵矶江段枯水季节河道变迁与白鳖豚群体活动的关系
Fig. 5-4 Relationship between the movement of *Lipotes vexillifer* and the change of river course in Chenglingji section
a. 1986年；b. 1989年。
→水流方向 Current；× 沙洲 Sand bar；
●深潭 Deep Pool；→ →白鳖豚游动路线 Way and direction of dolphin moving.

由此看来，白鳖豚迁移活动路线与河道变迁、洲滩变化有密切关系。它们主要是选择夹堰水区、缓水区或回流水区上行，在大回水区内作较长时间的停留，进行各种活动，然后顺主流下行。如果河道变化，它们的迁移路线随着寻找新的最适水流而改变。因此可以说白鳖豚的活动规律与生存的水环境相关。即使在同一年的不同季节也有变化。一般来说，长江枯水季节，水区变化不明显，它们的活动也较稳定，仅作短距离迁移。涨水季节，原来的回水区消失，新的回水区形成，白鳖豚也随着作长距离迁移，寻觅那些它们所喜爱的大回水栖息活动。

最近几年来，我们的科研考察中使用照相识别的手段，了解白鳖豚迁移活动规律，使我们得到进一步的认识。1994年10月25日在八里江口段，观察到一头背鳍后缘稍凹的白鳖豚，并拍照。1994年11月18日再次在这里观察到并拍照到该豚，说明这头豚一直在八里江口段作短距离迁移活动。1990年3月16日7时35分，在安庆市大渡口见到一群由2头大豚和1头小豚组成的群体，拍照到一头豚背部有明显伤痕。考察船尾随豚群达9h40min，上行距离约34km，以后考察人员失去跟踪目标，但考察船仍继续上行，3月20日即4天后在离安庆100km的亚字号洲附近的周家湾，发现了该豚群，这个豚群在4天中上行迁移约107km（华元渝等，1991）。另外一头豚通过照相识别，计算它最大迁移距离为200km以上。

五、白鳖豚的生物学特征

1. 体色与体形

一般说来，鲸类动物的体色都很单纯，没有什么鲜艳色彩，或是黑色，或是灰色，或是黑白花纹，即使带有黑白花纹也只见于海洋鲸类。而几种淡水豚类，体色更为单调，多是

青灰白色。白鳖豚就是这样，乍一看，只见它们背部青灰色，腹部灰白色。其实仔细观察则可见其背部、体侧、鳍肢背面及尾鳍背腹面为淡青灰色；体腹部、鳍肢腹面为灰白色。还有一个独特的明显特征，即在头颈部两侧、耳孔后及鳍肢上方的区域内，有一半圆形灰白色宽纹，在肛门上方的尾柄两侧，有两道半月形灰白色宽纹，这些斑纹在活体上是十分明显的(图版Ⅰ、Ⅱ)。

新生幼儿的体色比成年个体显得深些，背部为青色，腹部为灰色，颈部和尾部的斑纹与成体相同，但颜色为浅灰。幼儿的上颌背面有左右不对称的5对白色短须，在1龄以上的个体，这些短须脱落，而在原来短须的基部，留下5对白色斑点。

白鳖豚的体形呈纺缍形，狭长的上下颌几乎等长，吻端微向上翘，吻长占体长的1/6—1/7。眼圆极小，眼径仅占体长的1/250—1/300。鼻孔生于头顶部，略为偏左，呈椭圆形，无外耳，仅存留似针孔大小的耳孔，位于眼后。纤维肉质背鳍，呈低三角形，位于体中部稍后方，前肢变成桨状鳍肢，尖端钝圆，后肢完全退化，尾鳍和腹面平行，呈水平分为两叶。身体胸腹部似圆筒形，在脐处的体围为身体的最大体围。5种淡水豚中，白鳖豚与亚河豚的体形最为相似，它们之间的差别仅为白鳖豚的吻端稍上翘，鳍肢较小而圆钝，鼻孔椭圆，背鳍稍大而已(Brownell and Herald, 1972)(图1-3，表5-8)。

雌雄性别在外形上的区别，可从生殖裂的两侧有无乳裂和乳头来分辨。雌雄个体的身体各部比例性状，曾用8头雌性和9头雄性成年个体，进行33项比例性状的测量，其中有5项指标显出雌雄两性的差异性(表5-10)。但最为明显的是：雌性个体的体长比同龄雄性为大，11头4—13龄的雌性个体，其体长为184.4—248.5cm，平均体长为226.7cm，而10头3—14龄的雄性个体，体长为157—216cm，平均体长为183.4cm。雌性的生殖裂显著比雄性长得多；尾柄的厚度也是如此。用 t 测验证明两性在外形比例上有5个性状呈两性差异(表5-10)(陈佩薰等，1985)。Gao *et al*.(1992)最近也作了这方面的工作，用 t 测验证明了白鳖豚两性外形比例的9个性状，及颅骨测量的8个性状，两性都有差异，进一步证实了白鳖豚体形有明显的性二型(sexual dimorphism)。

表5-10 雌雄体形指标的差异

Table 5-10 The difference of the indices of body characters in male and female *Lipotes vexillifer*

项目 item	检验 $\sigma_1=\sigma_2$ test			检验 $\mu_1=\mu_2$ test		
	$F_样$ 值	$F_表$ 值 F(table)		$t_样$ 值	$t_表$ 值 t(table)	
	F(Sample)	$\alpha=0.01$	$\alpha=0.05$	t(Sample)	$\alpha=0.01$	$\alpha=0.05$
吻－生殖裂中心 Snout to genital (center)	7.07	6.18	3.50	7.04	3.01	2.16
生殖裂长 Length of genital slit	45.73	7.46	3.97	4.91	3.71	2.23
额隆顶宽 Rostral width at apex of melon	6.61		4.95	3.64	3.25	2.26
眼长 Length of eye opening	7.74	6.99	3.79	2.74		2.18
尾柄厚(肛门至尾凹中点) Thickness of caudal peduncle at midway between anus and fluke notch	6.27		4.88	3.14		2.23

2. 器官重量

关于淡水豚类器官的重量及其与体重的关系，过去做的工作不多，仅有日本 Kamiya 及 Yamaski(1974)曾对恒河豚和拉河豚作过报道。现以此资料与白鱀豚进行比较。

我们取 12 头白鱀豚成体(8 雌 4 雄)进行解剖，并将各器官分别称重，从获得的内脏各部器官以及肌肉和脂肪等组织的相对重量，可以看到其雌雄间没有显著差异(表 5-11)，而与恒河豚和拉河豚作比较，在心脏、胰脏和肾脏三种器官，3 个物种之间的相对重量存在着一定的差异。

表 5-11　白鱀豚体长、体重和器官的比例

Table 5-11　Body length, body weight and proportion of various organs in *Lipotes vexillifer*

标本数(头) Number of specimens		12	♀	♂
			8	4
体长(cm) Body length(cm)		L: 213.71 σ: 23.96	L: 226.70 σ: 17.12	L: 187.75 σ: 16.37
体重 Body weight(kg)		W: 125.59 σ: 35.67	W: 138.92 σ: 32.49	W: 98.94 σ: 25.30
器官或组织(占体重的%) Organs in % of body weight	肺 Lung	1.08—2.58	1.42—2.58	108—1.43
	肝 Liver	1.15—2.31	1.40—2.05	1.15—2.31
	肾左 Kidney left	0.23—0.30	0.23—0.30	0.26—0.30
	肾右 Kidney right	0.23—0.28	0.25—0.28	0.23
	胰 Pancreas	0.11—0.28	0.11—0.28	0.15—0.19
	脾 Spleen	0.06—0.13	0.09—0.13	0.06—0.09
	心 Heart	0.38—0.44	0.42—0.44	0.38—0.43
	胃 Stomach	1.71—4.74	2.52—4.74	1.71—1.98
	肠 Intestines	1.98—3.21	2.07—2.79	1.98—3.21
	肌肉 Muscle	27.52—36.18	28.33—32.43	27.52—36.18
	脂肪 Blubber	23.68—35.00	23.68—33.42	25.61—35.00
	肠长/体长 Length of intestines/body length	12.06—16.41	13.40—16.41	12.06—15.70

(1) 心脏　　白鱀豚的相对重量幅度为 0.38%—0.44%，而拉河豚为 0.42%—0.69%，恒河豚为 0.22%—0.28%，白鱀豚介于二者之间。心脏的大小可能与生活的环境有关，拉河豚主要生活在开阔的海岸边，恒河豚生活在平静的河流里，而白鱀豚则生活在奔流不息且有一定流速的长江中。

(2) 胰脏　　白鱀豚的相对重量幅度为 0.11%—1.28%，它与拉河豚的 0.12%—0.35%极为接近，而比恒河豚的 0.04%—0.09%则要大得多。

(3) 肾脏　　白鱀豚的相对重量幅度为 0.23%—0.3%，同心脏一样，介于拉河豚的 0.3%—0.43%和恒河豚的 0.12%—0.27%之间。

(4) 肠　　根据动物器官的结构都有与其生活方式相适应的规律。一般来说，食草动物因植物纤维不易消化吸收，所以它们的肠较长。而肉食性动物，因肉食较易消化和吸收，肠也较短。但白鱀豚仅以鱼为食，却具有像食草动物那样较长的肠。从测量 12 头成体的数据看，其肠长为体长的 12.06—16.41 倍。与其他三种淡水豚比较，恒河豚的肠长

为体长的3.6—4.9倍，亚河豚为19.0—20.0倍，拉河豚为24.0－37.3倍，白鳘豚的肠长与体长比例大于恒河豚而小于亚河豚和拉河豚(周开亚等，1981)。

3．食性

白鳘豚仅以鱼为食，这可以从死亡标本解剖和人工豢养下喂食试验中得到证实(详见第七章)。现就从长江中游所获得的数十头标本中，通过胃含物的分析来看白鳘豚的天然食性。在众多的标本中，空胃或胃内仅含少量残渣个体占多数，能够提供食性或食量分析的仅有12头(表5-12)。从胃含物的鉴别结果，可以看出白鳘豚的食物主要是鱼类，所食鱼的种类有：鲤(*Cyprinus carpio*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、三角鲂(*Megalobrama terminalis*)、赤眼鳟(*Squaliobarbuscurriculus*)、鲶(*Parasilurus asotus*)、黄颡鱼(*Pseudobagrus fulvidraco*)。鱼的体长多在15—30cm、体重100—600g，但有一头体长207cm(80－Ⅱ－5)的白鳘豚，胃中有一条较为完整未消化的鲢，体长为50cm、体重1.2kg，这是所见到的白豚吞食的最大鱼。从我们所获得的标本中判断，白鳘豚较为适口

表5-12 白鳘豚的胃含物分析

Table 5-12 The analysis of stomach contents in *Lipotes vexillifer*

	体长(cm) Body length	体重(kg) Body weight	胃含物重(g) Weight of stomach contents	胃含物组成 Stomach contents
1	181.0	80.0		稻谷1粒、小树枝2根
2	234.0	142.5		大鱼鳞片1块
3	183.0	87.5		1．鱼钩1只(长4.8cm) 2．植物种子2粒
4	184.0	63.5		1．枣核4颗，西瓜子3粒、谷粒10粒 2．小石粒14粒(最大14mm×19mm×6mm) 3．天牛头及肢14片
5	207.0	142.5	1 250	1．鱼1尾(鲢；体长50cm；体重1.2kg) 2．鱼钩1只(长3cm)
6	223.0	166.5		1．鱼骨(鲶、黄颡鱼)；脊椎骨11节、胸鳍棘2根，角质垫1块 2．小石粒8粒(最大12mm×10mm×8mm)3．鱼钩4只(长7cm)
7	239.0	116.5	150	1．砾石2粒(25mm×20mm×12mm)及沙粒若干 2．鱼钩2只及断裂鱼钩数根(长5cm)
8	195.0	72.5		天牛头及碎片数块
9	240.0	120.0		鱼钩2只(长5—7cm)
10	216.0	125.0	575	1．鱼4尾(青鱼、赤眼鳟：体长4.5—25cm；体重1.5—170克) 2．鱼骨碎片140克及角质垫9块
11	180.0	85.75	750	1．鱼15尾(草鱼、鲢、三角鲂、鲤、鲶：体长9.5—31.1cm)及鱼骨碎片、鳞片若干 2．小石粒3粒 3．高等植物碎片8块
12	226.0	165.0		1．鱼脊椎骨4节 2．小石粒7粒

的食物鱼是体重250g左右的鱼类。这些鱼类既有上层活动的鲢。又有底栖活动的鲶和黄颡鱼，这说明白鳖豚生活在长江中，既在江面上层又可到江底层活动捕食鱼类，对食物鱼的种类没有十分显著的选择性

生活在长江下游的白鳖豚，其胃内还发现有刀鱼(*Coilia ectenes*)，这是一种洄游性鱼类，当它们大量溯河洄游到长江下游时，也被白鳖豚捕捉吞食(周开亚，1981)。

在我们所解剖的12头标本中，有5头胃内出现鱼钩，有的鱼钩比较完整，有的已被胃酸腐蚀成数段。关于这个问题，我们推测可能是由于白鳖豚群体常在长江沙洲、边滩与支流、湖泊和干流交汇处活动，而这里也是鱼群喜爱的地方，渔民就常在此用滚钩捕鱼，当白鳖豚捕食鱼类时，也可能吞食滚钩上的鱼类，幸运者连同鱼钩一块吞入胃中，不幸者众多滚钩缠身无法摆脱而被钩伤或窒息而死，类似这种情况屡见不鲜。当然是否还有其他原因，将是我们今后需要进一步探讨的问题。

4. 年龄与生长

掌握动物的年龄和生长状况，是了解动物生活史的重要环节，因为只有确切知道一个种群的年龄组成及生长状况后，才有可能分析该种群的结构，并推断其发展趋势。所以动物的年龄鉴定、年龄组成、年龄与生长的关系等的研究是动物保护生物学中较为重要的内容。

(1)年龄鉴定　　齿鲸类年龄的研究已有50多年的历史，最早是Boschma(1938)(Perrin *et al*., 1980)对抹香鲸(*Physeter macrocephalus*)进行了研究，发现其牙齿纵切面上有像鱼鳞片上年轮样的纹层，随后有一些学者对水生哺乳动物类进行了年龄的研究。但直到1953年，日本西协昌治等(Nishiwaki *et al*.)用原海豚(*Setnella coeruleoalba*)牙齿切片作观察，提出齿质层上的轮纹作为鉴定年龄的依据。从此，也就是本世纪50年代后期，利用鲸类牙齿生长层鉴定年龄的研究工作广泛开展起来。1978年在美国召开的“鲸类年龄问题”的国际学术会议上，总结了这方面研究工作成就，并交流了一些学者提出的新方法(Perrin and Myrick, 1980)。

1979年来，我们对白鳖豚的年龄和生长进行了研究。白鳖豚的牙齿与所有齿鲸类一样，为同型齿(homodont)，但它为锥形，终生不脱不换，齿髓空，属于封闭型，刚出生的仔豚齿髓腔尚未封闭，由于牙齿不断吸收营养物质，钙质不断向内沉淀，3、4龄的幼豚齿髓腔开始缩小，到8、9龄的成年豚对齿髓腔已完全封闭(陈佩薰等，1985；张先锋，1987)(图版XXIII)。

从牙齿的外表和髓腔的大小，能粗略判别该豚是属于幼年、成年或老年。幼年豚齿表面光滑，齿端尖锐，髓腔较大，成年豚齿面稍粗，齿端圆钝，齿髓腔小或封闭；老年豚齿面粗糙，齿端磨损呈钝平，无髓腔，但如要知道该豚的确切年龄，还必须详细观察牙齿的切片。

白鳖豚上下颌上共有牙齿130颗左右，我们曾将三头有代表性的豚，取其不同部位的牙齿，作切片观察，比较结果认为从门齿向后数的第20—25颗牙齿，它们的切片上轮纹较清晰，每头豚取2—4颗牙齿作鉴定年龄的材料。

取出的牙齿作如下技术处理：

① 将齿根处肌肉刮除干净，用清水冲洗，分别放到注明豚号、性别、体长、体重标签的容器内。

② 在自制带小马达的切片机上进行切片，分为两种切片，纵切片只要从齿中剖开分成左右两片；横切片是从近齿根的1/3处切成厚约1mm的2—3片。

③ 切片分别逐一地在磨石上磨至0.15mm左右的薄片。

④ 将齿磨片浸入5%的甲酸溶液中约5min，取出后再用胭脂红染色。

⑤ 将处理完毕的齿切片夹在两片载玻片中固定，贴上标签，放在解剖镜（15×2倍）下观察。

白鱀豚牙齿上的年轮特征（图版XXⅢ）：

婴儿线（neonatal line）是一轮特别明显的透明环带，它将先天齿质和后生齿质分开。无论幼年个体或老年个体，它们齿切片面上的婴儿线都非常清晰。

生长层组（growth layer groups）在婴儿线内的后生齿质上，可以看到一明带和一暗带相互交替的环带，统一称为生长层。通过幼年、成年和老年豚齿切片的观察，我们认为，白鱀豚的一个生长层应是一个明层和一个暗层组成。

由于齿质上的生长层组比垩质上的生长层组表现出来要清晰和完全，因此鉴定白鱀豚的年龄依据是齿纵切片上齿质的生长层数，而横切片及垩质上的生长层数仅作为对照而已。

(2) 年龄组成　1979—1985年间，我们共获得22头白鱀豚样本，在确定齿切片上反映年龄的生长层组特征后，分析了白鱀豚群体的年龄组成。雌性年龄分布在0—13岁范围内，雄性分布在3—14岁范围内（表5-10）。值得提出来的是1974年在长江中游洪湖江段获得一头体长253cm雌性个体，它是目前我们所获标本中最大的一头，其年龄约在30岁左右。

(3) 生长　只要正确鉴定了年龄，就不难了解白鱀豚的生长状况，由于白鱀豚冬、夏两季脂肪消长变化较大，夏季皮下脂肪层仅1—2cm，而冬季可达4—5cm，因此仅从体重的指标来观察其生长趋势，如果所使用的样本不是各年同一季节的话，所得结果就会很容易出现偏差。为此，我们使用年龄与体长的关系式，来分析白鱀豚的生长状况，得出结果如下：

$$Y_{♀} = \frac{X}{0.003394X + 0.008251} \pm 13.6476$$

$$Y_{♂} = \frac{X}{0.00453X + 0.004715} \pm 14.8498$$

以此作出年龄与体长的相关曲线图（图5-5），可以看出实测体长大都分布在这个曲线上或周围，表明该曲线基本符合实际情况。我们计算出白鱀豚各龄体长及年增长值，进行分析，雌性6龄、雄性4龄以前年增长值大，为生长旺盛的幼年期。在这以后年增长值逐渐缩小，它们的生长转入成年生长缓慢期，直到生长趋于停止状态的老年期，这可能发生在14龄以后（图5-5和5-6；表5-13和5-14）。前面所说1974年获得的一头最大雌性个体体长253cm，年龄可能为30岁，这个体长几乎接近于13—14岁的体长。高安利等（1992）的工作对我们的工作做了进一步的证实。

(4) 体重、体长和体围的关系　随着年龄的增大，体重、体长和体围都相应地增长。但在一年中的不同季节，豚体积累的脂肪不同，由于脂肪消长，影响到豚体的体重和体围。但目前我们缺乏周年脂肪消长的资料，尚无法知道它们的规律性，只能根据现有数据，

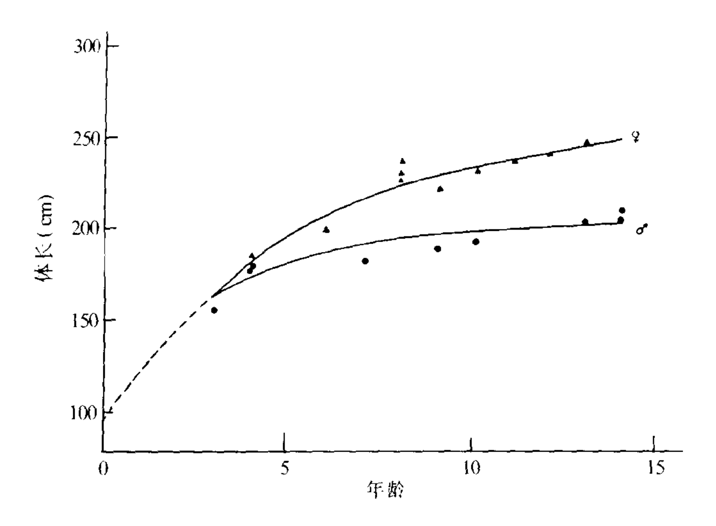


图 5-5　白鳖豚年龄与体长的相关曲线(单位：体长,cm;增长速度,cm/龄)
Fig. 5-5　Correlation between age and body length in *Lipotes vexillifer*

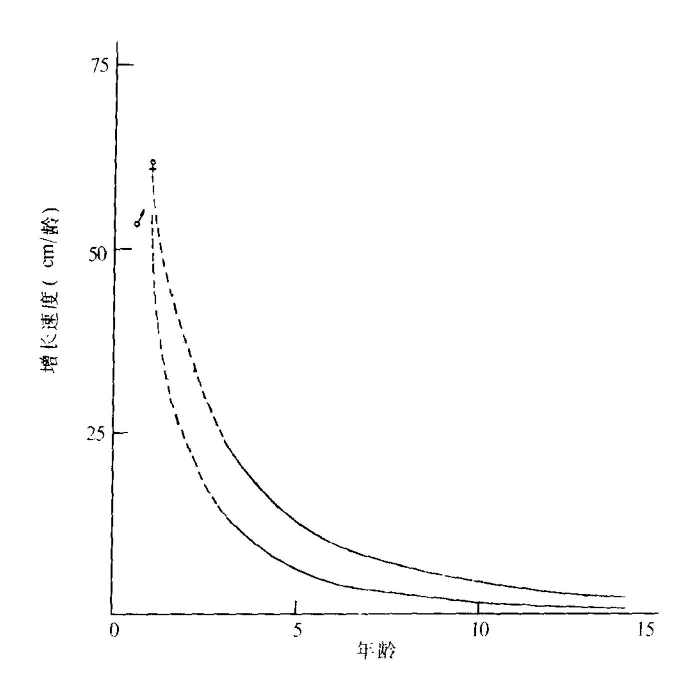


图 5-6　雌、雄白鳖豚体长增长速度
Fig. 5-6　The growing rate of the body length of male and female *Lipotes vexillifer*

采用 $W = aL^{b1}S^{b2}$ 的相关公式,粗略地估算它们之间的关系,计算结果如下：$W = 0.003418L^{1.2681}S^{1.1949}$($W$ = 体重,L = 体长,S = 体围)。

表 5-13　白鱀豚齿质生长层与年龄

Table 5-13　The growth layer groups in dentine and the age of *Lipotes vexillifer*

编号 No.	性别 Sex	体长(cm)(吻端—尾凹) Body length (snout to fluke notch)	体重(kg) Body weight	齿质上环数 Growth layer groups in dentine	年龄 Age	说明 Comments
1	♀	95.0	9.5	0	0	出生2个月左右
2	♀	184.5	63.5	4	4	
3	♀	200.0	100.0	6	6	
4	♀	223.0	166.5	8⁺	9	
5	♀	226.0	165.5	7⁺	8	
6	♀	231.0	141.0	7—9	9	从16颗牙齿切片上鉴定
7	♀	232.0	152.9	8	8	
8	♀	234.0	142.5	9—10	10	
9	♀	239.0	116.5	8	8	
10	♀	240.0	120.0	10—11	11	垩质层上可见14轮
11	♀	244.0	163.5	10—13	12	第13轮仅个别切片上显出,可能为副轮
12	♀	248.5	144.5	11—14	13	仅在垩质层上出现14轮
13	♀	157.0	40.75	2⁺	3	人工饲养9个月,82年1月27日死亡,因病体重减轻
14	♂	180.0	85.75	4	4	
15	♂	181.0	80.0	3⁺—4	4	
16	♂	183.0	87.5	3⁺	4	
17	♂	183.2	93.0	6⁺	7	
18	♂	190.5	64.0	9	9	
19	♂	195.0	72.5	10	10	
20	♂	206.0	95.0	10—13	13	
21	♂	207.0	142.5	14	14	
22	♂	216.0	125.0	14	14	

表 5-14　白鱀豚年龄与体长的关系

Table 5-14　The relation between age and body length in *Lipotes vexillifer*

♀(n=11)			♂(n=10)			♀/♂年增值的比值 Ratio of year increment
年龄 Age	理论体长(cm) Estimative body length	年增值(cm) Year increment	年龄 Age	理论体长(cm) Estimative body length	年增值(cm) Year increment	
3	162.76		3	163.89		
4	183.26	20.50	4	175.17	11.28	1.871
5	198.26	15.00	5	182.72	7.55	1.987
6	209.69	11.43	6	188.12	5.40	2.117
7	218.70	9.01	7	192.18	4.06	2.219
8	225.98	7.28	8	195.34	3.16	2.304
9	231.98	6.00	9	197.87	2.53	2.372
10	237.02	5.04	10	199.94	2.07	2.435
11	241.31	4.29	11	201.67	1.73	2.480
12	245.00	3.69	12	203.13	1.46	2.527
13	248.22	3.22	13	204.39	1.26	2.556
14	251.05	2.83	14	205.48	1.09	2.596

5. 生殖

(1) 成熟年龄与大小　确定白鱀豚性成熟的指标，可以从性腺发育状况来看，若要较为确切的数据，则需从组织学结构进行分析。雌性的卵巢中有无黄白体是确认该豚性成熟与否的标志(详见第二章生殖系统节)。若轻压乳腺区，有白色粘稠乳汁流出则可肯定该豚正在哺乳。根据这些标志，将 70—80 年代所获 13 头雌性白鱀豚，按其大小、年龄和性成熟状况列于表 5-15，可以看出 4 龄以下雌性不成熟，而 8 龄以上均已达成熟，成熟个体体长在 2m 以上。因缺少 5—7 龄雌性样本，现尚无法提出雌性成熟的最小年龄，但据生长资料的推测可能是 6 龄，这需要作进一步的证实。至于雄性白鱀豚成熟年龄与大小，从所获的 3 头标本可以确定，191—206cm 体长的雄性生殖腺都已达成熟，它们的年龄为 4 龄，从显微镜下观察到精母细胞分化的各阶段，并在曲细精管内层见到精子细胞的梨形头部。

表 5-15　白鱀豚性腺成熟状况

Table 5-15　Status of maturity of *Lipotes vexillifer*

性别 Sex	标本 Specimens	获得日期 Date	体长(cm) Body lengh	体重(kg) Body weight	年龄 Age	成熟状况 Status of maturity
♀	84-2	1984.3.29	90.3	6.75	0	未成熟 Immature
	80-3	1980.1.11	184.5	63.5	4	未成熟 Immature
	83-1	1983.2.28	226.1	165.0	8	成熟(?) Mature(?) 未怀孕 Nonpregnant
	80-7	1980.2.15	226.0	166.5	9	成熟 Mature 未怀孕 Nonpregnant
	79-2	1979.1.25	234.0	142.5	10	成熟 Mature 未怀孕 Nonpregnant
	83-3	1983.10.6	240.0	120.0	11	成熟 Mature 未怀孕 Nonpregnant
	86-1	1986.12.2	237.4	161.25		怀孕 Pregnant
	82-1	1982.2.1	232.0	152.9	8	怀孕 Pregnant
	74-1	1974.1.21	250.0	221.0		怀孕 Pregnant
	74-2	1974.1.21	253.0	237.0		怀孕 Pregnant
	83-2	1983.3.18	231.0	141.0	9	哺幼 Nursing
	80-8	1980.3.8	239.0	116.5	8	哺幼 Nursing
	82-2	1982.9.24	259.0	163.5	12	哺幼 Nursing
♂	79-1	1979.1.5	191.0	80.0	4	精子活动 Active spematozoa
	80-1	1980.1.4	194.0	87.5	4	
	73-1 409	1973.10	206.0	95.0	10	

(2) 怀孕期　要知道白鱀豚怀孕期究竟有多少月份，目前只可能从所获的胎儿和新生儿来分析(刘仁俊，1988，1989)。从获得的 4 头胎儿和新生儿来看，1974 年 1 月 21 日获得 2 头母体中的胎儿，体长分别为 54.5cm 和 73cm，1983 年 12 月 2 日获得的 1 头母体内胎儿体长为 34.5cm。1979 年 5 月 29 日获得 1 头离开母体被捕起的新生儿，体长为 95cm (表 5-16)。根据哺乳动物的妊娠规律，采用 $Y = ab^x$ (Y = 体长，X = 妊娠月份) 指数方程式，并从胎儿和新生儿体长共同分析，估计出生时体长为 80cm，计算出白鱀豚的理论

妊娠月份与胎儿体长关系式为 $Y=1.489^x, X=5.7803 \cdot \log Y$，可以推算出白鳖豚怀胎时期约 10—11 个月。

表 5-16 白鳖豚胎儿和新生儿生长情况(引自刘仁俊,1988)

Table 5-16 Status of foetus and newborn of *Lipotes vexillifer*

日期 Date	性别 Sex	体长(cm) Body length	体重(kg) Body weight	类别 Note	估算妊娠期(月) Calculated gestation (month)
1986.12.2	♀	34.5	0.85	胎儿 Foetus	8.89
1974.1.21	♀	54.5	2.5	胎儿 Foetus	10.04
1974.1.21	♂	73.0	4.8	胎儿 Foetus	10.77
1979.5.29	♂	95.0	9.5	新生儿 Newborn	11.43

(3) 交配期和分娩期　自然条件下白鳖豚的交配期可能有一定的季节，从生态考察中，春季见到在 0.1—0.3m/s 流速的撒网水区中，有白鳖豚在这里进行交配活动。另从我们饲养的 1 头雄性白鳖豚“淇淇”的 10 多年观察中，可以见到一年之中出现两次性活动高峰，即春秋两季，但春季比秋季要强烈得多。至于分娩期，从所获的胎儿及新生儿体长推算，应是 2—3 月。

(4) 怀孕率　白鳖豚虽具有双角子宫，子宫左、右角有隔膜分开，但宫颈处是相通的。任何一角怀胎，羊水不仅充满怀胎的一角，同时亦充满未怀胎的一角，使其相应扩大，因此很易让人误解为左右角各怀一胎。一般来说，白鳖豚每次仅怀一胎，偶尔也有怀双胞胎儿的。最为有力的证据是从卵巢上检查有无妊娠黄体或萎缩黄体(见第二章生殖系统节)。我们曾获得两例双胞胎的个体，一例为陈宜瑜等 1974 年获得的一头雌体(74-1-002)，右侧子宫内有胎儿，但左侧子宫膨大如右侧，并据渔民反映，有一幼儿被水冲走，估计已生产出一头(陈宜瑜等,1975)。另一例为我们在 1986 年获得的一头雌性个体(86-1)，较为仔细地解剖和观察了它的子宫情况，认为该豚怀的系双胞胎儿，其理由如下：

① 从曾获得的许多雌性成熟个体样本的解剖资料，获悉一般怀胎的子宫角比未怀胎的子宫角要大得多，但 86-1 号未怀胎的左角子宫比怀胎的右角子宫要大一些。

② 怀孕未产个体的子宫颈仅 2—3cm 直径，临产个体宫颈也仅 5cm，则产者宫颈才扩大，产后 3 天左右恢复正常。86-1 号标本右角子宫内胎儿为尚未足月个体，但其宫颈为 20.5cm 直径，说明该豚左角子宫所怀胎儿刚产出不久。

③ 左侧卵巢中有一萎缩黄体，这是胎儿产出后黄体正在萎缩逐步形成白体的象征。

④ 从子宫的组织学观察中可以看到，怀孕子宫的内膜不可能有蜕膜化现象，只有未怀孕子宫为准备受精着床才出现蜕膜化现象。86-1 号标本的子宫左右两角均没有发现这种蜕膜化现象。

⑤ 挤压临产母豚乳腺区，仅有少量稀薄乳液，但 86-1 号标本却有大量白色粘稠乳汁。故从以上种种情况分析，86-1 号母豚可能是怀的双胎，而先产出了一头胎儿。但可以肯定地说，白鳖豚大多数是每次只怀一头胎儿。

将历年所获白鳖豚标本作为随机取样的样品。我们曾获得 31 头样品中，雄性为 18 头，雌性 13 头，它们的性比为 1.38♂:1♀，几乎接近 1:1。13 头雌性中仅有 4 头怀孕个体，这样白鳖豚的怀孕率仅为 30%(刘仁俊,1988)。

六、白鳖豚种群结构与数量

1. 白鳖豚的种群数量

白鳖豚的种群数量一直是人们关注的问题和多年研究的焦点。1978 年以前，没有人对白鳖豚的种群数量进行过研究。1979 年与白鳖豚的分布考察同时，开始了白鳖豚种群数量的考察、分析、估算和监测。1979 年 5 月，陈佩薰等(1980)在洪湖江段记录到 5 个群体共 19 头白鳖豚。与此同时，周开亚等(1980)也在下游太阳洲至南京江段记录到 3—6 个群体，共 10 头白鳖豚。随后，周开亚等(1982)根据 1979—1981 年间，在长江下游南京至贵池 250km 江段内进行的 6 次考察，初步认为，约有 3—6 个白鳖豚群体生活在该江段，每群约有 6—10 头白鳖豚。他以每群有 10 头白鳖豚，推算该江段白鳖豚的种群密度约为 4—8km 一头，即 0.12—0.24 头/km。最后，他以长江中下游枝城以下 1 700km 的长江干流白鳖豚种群的平均密度为 0.25 头/km(假定白鳖豚为均匀分布)来估计，白鳖豚的种群数量约 400 头左右。不久，林克杰等(1985)，总结了 1978 年 12 月至 1985 年 1 月对长江中下游(宜昌—南通段)进行的 9 次生态考察资料。考察时，采用的是一艘考察船("水生一号"、"水生二号"或"科湖号")航速 10—12km/h，考察人员用肉眼或望远镜搜索江面。当发现白鳖豚后跟踪一段时间，估算群体大小、数量，立即在航道图上标记下时间、数量等。然后对 9 次考察所记录到的白鳖豚出现的地点和数量按该点距河口的距离(km)和相应记录到白鳖豚的头数和次数进行标记，统计各段出现白鳖豚的频率。结果得到长江中下游干流一系列不同的白鳖豚分布密集区。进一步分析出现这些密集区内沙洲发育良好，具有白鳖豚生活的小生境。并认为此种密集区是白鳖豚经常活动的江段。据此，把长江中下游干流自上而下划分为 17 个江段，每个江段至少有一个白鳖豚群体，其中有 4 个江段比较长，有不止一个白鳖豚群体。因而推算共有 20 个以上的白鳖豚群体，估计白鳖豚种群的总数量不低于 156 头。

自 1984 年起，考虑到长江江面宽阔，用一艘考察船在江面观察，存在难免遗漏较多，精度较差等缺陷，我们改用一艘大船作指挥船，带多艘小渔船在白鳖豚分布密集的重点江段，如湖北的洪湖和安徽的安庆江段进行长期定点考察。并于 1985 年 11 月至 1986 年 2 月(冬季)和 1986 年 4—6 月(春季)，连续两次用大船带小船的方法对宜昌—江阴段进行全面考察，重点分析长江水文、河床形态与白鳖豚分布、栖息的关系，同时进一步估算出白鳖豚种群现状为大约 42 个群体，约 300 头左右(陈佩薰等 1987，1989)。在此期间，周开亚等(1989)亦在长江下游开展了进一步的白鳖豚生态考察，并系统分析了 1979—1986 年间下游考察所获得资料，估计长江湖口以下江段约有 11 个白鳖豚群体，下游的种群数量约为 100 头左右，与我们推算的结果吻合。这些研究结果均于 1986 年 10 月，在武汉中国科学院水生生物研究所召开的"淡水豚类生物学与保护国际学术讨论会"上报告。相应地，白鳖豚种群数量约 300 头的观点也得到国际国内研究人员的肯定。

1987—1990 年间，我们继续沿用上述方法，对白鳖豚种群数量进行了监测。同时，把季节性定点和流动考察结合进行，如 1989 年一年四季中，在石首、城陵矶、洪湖、燕窝设 4 个点，每季定点考察 20 天，定点的同时，用一条大船在 4 个点之间往复搜索。1987 年 3 月至 1990 年 4 月间，共进行 12 次考察，考察时间 250 天，考察江段覆盖宜昌以下江段。

累计实际观察到白鳖豚108头次,其中1987年3月在城陵矶观察到迄今最大群体16头白鳖豚。根据对这些考察资料分析认为长江枝城以下江段的白鳖豚种群数量已不足200头。并提出,过去把长江分成若干段,每段均为白鳖豚栖息地,同时必有一个白鳖豚群体的观点有不足之处。因为,有些显然是白鳖豚适合的栖息地的江段,通过一个周年的定点和流动相结合的考察后证实一直是空着的,并无白鳖豚分布(陈佩薰等,1993)(见表5-1)。

随着研究工作的深入,如何精确统计、监测白鳖豚种群数量,尽量避免计数的重复和遗漏,提高准确率成为研究的焦点。而研究手段的突破成为解决上述问题的关键。华元渝等(Hua *et al*.,1989,华元渝等,1994),周开亚等(1993)在此期间相继开始了照像识别白鳖豚个体的研究。白鳖豚的背鳍常有缺刻,背鳍的形状在不同的个体也有差别,背鳍及背部也有因各种原因引起的斑痕、色素等。这些性状构成了识别不同个体的理论依据,实际操作时,由于白鳖豚个体较小,出水时间短,行为谨慎,远离船只和研究人员。因而,要获得足以清晰识别个体的照片非常困难。作者1986年3月至1987年12月间,在监利—新滩口段考察时,用带300mm变焦镜头的135相机开始了照像识别的尝试。当时拍摄照片约1 000张,较清晰的仅约80张(占8%),获得这些较清晰的照片中,未见到有明显标记的个体。利用照相识别技术研究白鳖豚种群数量和迁移取得实质性进展是在1990年前后。周开亚等(1993)于1989—1991年间在长江下游利用5次野外考察所获1 178张照片识别了7头白鳖豚(NJNUID#001—007)。

根据考察和识别的结果,利用下述假设和公式,计算出可被识别的豚数占所有记录到豚数的比例(P)为28%[据公式(5-1)],然后利用联立方程(5-2)至(5-4),处理1989年5月和1990年3月两次考察的数据,得到可被识别的豚数为9头,根据公式(5-4)处理的结果为7头,将9头和7头除以P估算出考察的江段内白鳖豚的种群数量分别为32和26头,而用数记重捕公式(5-5)进行估算的结果为30头,三者估算的平均值约为30。因此认为,南京—湖口段(长度420km)的白鳖豚种群数量约为30头。同时考虑到白鳖豚的迁移,与其他江段间的个体交换,30头是该江段白鳖豚数偏高的估计。同时他们推测,若按420km江段内有30头白鳖豚计,平均每km有0.07头白鳖豚,同时假设白鳖豚仍栖息在1 700km长的江段中,且均匀分布,那么长江中尚存在白鳖豚只有约120头。他们应用的假设和公式如下:

设某江段内有标记,可识别的豚数占该江段内豚总数的比例为P,P为每次考察被识别的豚数占每次考察计数豚的总数(扣除重复记数)百分比的平均数,由下式计算:

$$P = \sum \frac{(m_i/2n_i)}{E} \times 100\% \qquad (5\text{-}1)$$

式中　m_i为某次考察中识别的头数;n_i为某次考察中记数的头数;E为考察的次数。

该江段中豚的总数(即种群数量)由可识别的豚数除以P得出,这里,可识别豚数用两种方法计算:

①根据概率统计原理,可识别豚数由下列联立方程(5-2)到(5-3)算出:

$$SQ = D_1 \qquad (5\text{-}2)$$

$$SQ_2 = D_2 \qquad (5\text{-}3)$$

$$SQ_1Q_2 = D_{12} \qquad (5\text{-}4)$$

式中　S 为该江段内可识别的豚数；Q_1 为 1989 年 5 月识别的豚占可识别豚的概率；Q_2 为 1990 年 3 月识别的豚占可识别豚的概率；D_1 为 1989 年 5 月考察识别的豚数；D_2 为 1990 年 3 月考察识别的豚数；D_{12} 为上述二次考察均被识别的豚数。

②可识别豚数由 Hammond(1986)推荐的 Chapman 修改的 Peterson 公式估算：

$$S = (D_1 + 1)(D_2 + 1)/(D_{12} + 1) \tag{5-5}$$

式中符号定义同前

该江段内豚的种群数量还可简单由标记重捕模型估算：

$$N/M = n/m \tag{5-6}$$

式中　N 为种群数量；M 为标记豚数(即 1989 年 5 月识别的豚数)；n 为重捕豚数(即 1990 年 3 月记录到的豚数)；m 为重捕个体有标记的豚数(即在上述两次考察中均被识别的豚数)。

周开亚等(1993)还利用照相技术研究了白鱀豚的迁移速度和距离，取得了较理想的结果。NJNUID#001 于 1989 年 3 月 9 日在玉板洲(距河口 600km 处)被识别。1990 年 3 月 17 日，在江心洲(距河口 640km 处)再次被识别。说明：①该豚的标记至少保持了 1 年以上时间；②1989—1990 年的两个春季(3 月份)该豚活动范围大致稳定(距河口 600—640km 一带)。1990 年 3 月 17 日发现#001 时，与它相伴还有 1 头成体和 1 头小豚构成一群，3 天后即 3 月 20 日，这群豚在周家湾(距河口 740km 处)再次被发现。3 天期间，该群豚上行游动了 100km，平均每天约 33km。NJNUID#003 于 1989 年 5 月 4 日首次被识别，5 月 14 日在小黄州(距河口 400km 处)再次被识别，1990 年 4 月 24 日，#003 第三次在玉板洲被识别。两者间的距离为 204km。华元渝等(1994)于 1989 年 3 月在安徽三江口(距河口 603km 处)识别 1 头背鳍边缘有明显缺刻的个体。1992 年 1 月该豚在江苏仪昌洲(距河口 303km 处)再次被识别。两地相距约 300km，这是迄今记录到的白鱀豚个体迁移最长的距离。

华元渝等(1993)将 1987—1991 年间考察的白鱀豚种群数量资料与 1984—1986 年的资料进行了对比，也估算了白鱀豚的自然群体数量。他们认为，在宜昌—荆沙(沙市)160km 江段中已看不到白鱀豚，较以前减少约 17 头。荆沙以下江段未发现新的群体，仅见 11 头白鱀豚，较以前减少 43—44 头。洪湖江段(135km)仅见 27 头白鱀豚，较以前减少 15 头。安徽官洲—黑沙洲段(175km)，观察到 44 头，减少 17 头。江苏镇江段观察到 4 头，减少 12—13 头。在以上约 800km 的江段内，1991 年较 1986 年减少 104—106 头白鱀豚。这 5 年内白鱀豚自然种群数量的年递减率为 14.66%—14.84%。按此比例推算，1991 年白鱀豚的自然群体数量为 120—130 头。

1979—1995 年间白鱀豚种群数量考察方法，主要结果见表 5-1。

实际上，白鱀豚的种群数量迄今仍是一个悬而未决的问题。目前，甚至是今后一段时间内，受考察方法和手段以及长江特定的环境条件所限，谁也无法用充分可靠的证据阐明白鱀豚的种群数量到底还有多少。据最新的考察资料推测，白鱀豚的种群数量很可能比上述的估计数量还要少得多，估计已不足 100 头。

尽管如此，从图 5-7 仍可看出白鱀豚的种群数量呈明显的下降趋势。作者从 1985—1990 年间，中国科学院水生生物研究所进行的 23 次野外考察中，挑选 9 次方法相同(均为多船多角度流动考察)、江段相近(多为长江中游)的考察结果进行比较，发现 9 次考察的白鱀

豚发现率(SPUE 值—sightings per unit of effort，以头/天计)呈明显的下降趋势(表 5-17)。

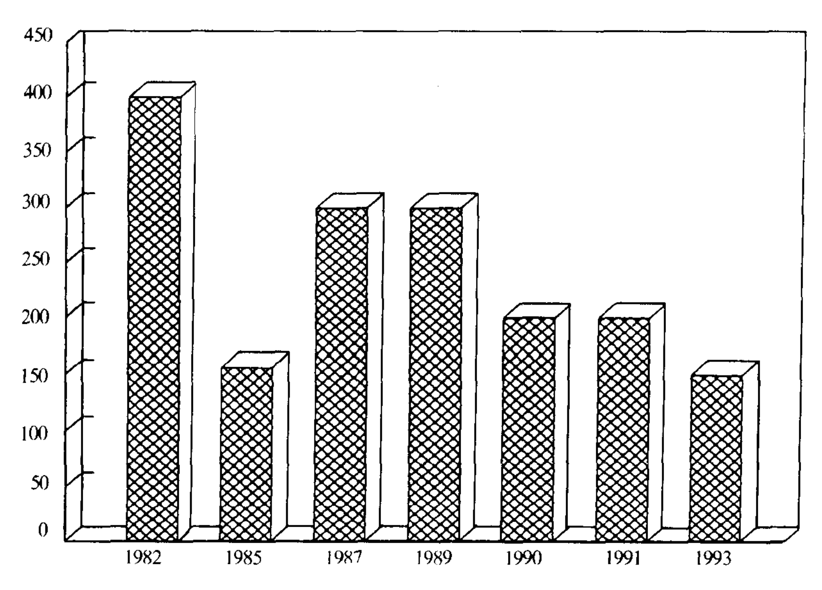


图 5-7　1982—1990 年间白鱀豚种群数量估计结果

Fig. 5-7　Population sizes of *Lipotes vexillifer* estimated during 1982 through 1993

表 5-17　1985—1990 年间 9 次考察的 SPUE 值(头/天)

Table 5-17　Sightings per unit effort (SPUE) in 9 surveys from winter 1985 through spring 1990 in the Yangtze river

时间 Period(Y.M.D)	工作天数 Days of sighting	地点 Location	观察数量 No. of obs.	SPUE
85.11.23—86.02.02	71	长江中下游 Middle and lower reaches of the river	243—247	3.45
86.04.08—06.04	58	长江中下游 Middle and lower reaches of the river	176	3.03
87.02.20 - 04.02	40	城陵矶 Chenglingji	32	0.80
88.12.20—89.01.07	19	武汉—藕池口 Wuhan—Ouchikou	17	0.90
89.02.23—03.07	17	武汉—八仙洲 Wuhan—Baxianzhou	15	0.88
89.03.13—04.11	30	城陵矶 Chenglingji	7	0.23
89.11.15—12.04	20	武汉—宜昌 Wuhan—Yichang	1	0.04
89.11.15—12.14	30	武汉—河口 Wuhan—the estuary	6	0.20
90.02.09—04.07	58	城陵矶 Chenglingji	6	0.10

2. 白鱀豚的种群结构

就像白鱀豚的种群数量一样，其种群结构亦不甚明了。这里仅根据林克杰等(1985)

和 Chen Peixun 等(1989)所作的初步分析作如下粗略推测。幼龄豚(♂0—4 龄,♀5 龄)约占 31.0%,壮年豚(♂5—12 龄,♀6—13 龄)约占 41.05,成年豚(♂13—20 龄,♀14—20 龄)约占 22.8%,老年豚(20 龄以上)约占 6.1%。另外,刘仁俊(1991)根据 102 头白鱀豚标本资料,统计出白鱀豚种群的性比约为 1:1(♂:♀=48:52)。成熟雌体约占全部雌体的 30%,成熟雌体的妊娠率约为 30%。

七、人类活动对白鱀豚种群的影响

从 1978 年以来,科研人员一直在长江中下游进行了数十次的考察,仅就这 10 多年的工作,无论是直观印象还是获得的具体数字,都反映出白鱀豚种群数量越来越少了,且已达到濒危状态。分析其原因,可以认为该物种绝不是由于其自身的发展演化已达顶极,在自然进化中趋于灭绝。根据我们的调查资料说明,白鱀豚多受到来自外部环境的影响(Chen and Hua, 1989; Zhou and Li, 1989)。据不完全统计,迄今收到已知死亡原因的白鱀豚标本中,由于人类活动的影响导致死亡的占 95%以上(表 5-18)。严重威胁白鱀豚生存的人类活动因素有以下几方面:

表 5-18 白鱀豚死亡统计

Table 5-18 Records of *Lipotes vexillifer* deaths between 1973—1985

江段及时间	死亡率	死亡原因							总计(头)
		滚钩	其他渔具	螺旋浆	爆炸	搁浅	水闸门	不明死因	
长江中游	数量	15	1	2	5	5		5	33
1973—1983	%	45.5	3.0	6.1	15.2	15.2		15.2	100
长江下游	数量	7	6	10	6	1	1		31
1978—1985	%	22.6	19.4	32.2	19.4	3.2	3.2		100

1. 渔业

人们不断发展利用长江鱼类资源,但在发展渔业的同时,也直接或间接对白鱀豚带来极大不良影响。

(1) 过度捕捞　　白鱀豚以鱼为食,而长江沿岸数十万渔民也依赖在长江捕鱼而维持生活。50 年代以来,长江捕捞业机械化水平不断提高,渔捞强度增大,加之对不法之徒控制不严,炸鱼、毒鱼、电鱼等严重破坏了鱼类资源。以渔产量为例,洞庭湖渔产量 1981 年比 1949 年下降了 55%,江苏省鱼类产量下降 98%(长江江苏渔业史,1987,江苏省水产局编)。长江中下游渔获物组成日趋小型化,低龄化,白鱀豚的食物资源已十分有限。白鱀豚的摄食强度必然增大,甚至有理由怀疑白鱀豚是否能够获得足够的食物以维持其生存。

(2) 捕捞作业对白鱀豚的误伤　　白鱀豚活动的水区也是鱼类比较丰富的地方,也是渔民捕鱼的水区。在长江干流中,渔民最为广泛使用的渔具是滚钩,用来捕捉中下层鱼类。这是一种用数十至百余米尼龙绳作主纲,上系有数百至千余枚犀利的钢钩,定置或流放在鱼类较为密集的水中,由于此种渔具捕捞的鱼类是白鱀豚主要的食物,白鱀豚或吞食

下带钩的鱼，对胃产生严重损害，或被钩缠绕窒息死亡；或被钩得遍体鳞伤，幸免逃脱可是满身伤痕(图版XXIV，A)。由于渔民使用滚钩捕鱼误伤白鳖豚的例子，累见不鲜。就在最近1990年3月14日在长江下游靖江段罗家桥，获得1头身缠36枚滚钩的死亡成熟雌性白鳖豚(淡水渔业中心报告，1990)，据不完全统计，长江中游由滚钩致死的约占45%强，长江下游约占22%强。还有一种渔法称为箭箔(亦称迷魂阵)，是一种用竹竿、网片和网袋组成的定置渔法。由于这种捕捞方式可将各种大小的鱼捕起，渔获量相当大。可这种渔法，对鱼类资源来说损害较大，同时也给白鳖豚造成危害，因白鳖豚往往追捕鱼群而钻到网内窒息而死。虽箭箔已属政府禁止使用的渔法但仍禁而不止，这类的死亡，长江下游大于中游。另外还有非法的电鱼和炸鱼，破坏鱼类资源严重，而白鳖豚也随着受害。1984年在中游簰洲就有1头白鳖豚遭电击而丧生。1978—1985年间，在长江下游有6头白鳖豚死于炸鱼，约占长江下游已知死亡原因的20%(表5-18)。总的说来，白鳖豚由于渔业而误伤死亡的数量几乎达死亡总数的一半。

2. 航运业

随着长江两岸城市的经济开发，被誉为"黄金水道"的长江，航运业也大大地发展起来。据统计长江机动船只的数量，长江中游70年代在50年代基础上翻了一番，而下游则更快，几乎是每10年翻一番。1985年南京至江阴江段，有12座海轮深水泊位峻工投入使用，九江港正在扩建成为可接纳远洋海轮的国际港。大型船队、大马力船只多出现在武汉以下的江段。就最近几年来看，发展形势更为迅速，每天在长江上航行的船只近7万艘，船的密度是5年前的3倍，总运力由1988年600多万t增至1994年的1 300万t(长江日报，1994年10月17日头版二条)，翻了一番。为了较为确切地表明长江船只的密度，1989年我们曾作了实际统计，在长江中下游几个有代表性的江断面，计数船只平均流量(艘/h)，即记录每小时经过定点江断面的船只数。或者考察船在长江行驶中，记数每小时遇到的船只数(所记船只功率从20—6 000马力，不包括机动小渔船)。用这种方式来表示长江运输船只的密度，统计结果显示(表5-19)，长江中游(宜昌至九江)平均流量为13艘/h，下游(九江至浏河口)为67.4艘/h，下游船只为中游的5倍，而且大型船队、少数海轮多出现在武汉以下江段中。在定点断面上，中游是每4.65min有一艘船通过，而下游则每1min就有一艘船通过。这里还必须指出的是那些20—40马力的小型机船，不仅占的比例大，同时它们的航线是上行沿2—3m的浅水缓流行驶，下行则沿主航道行驶，这恰巧正是白鳖豚迁移活动的路线。从以上调查资料来看，长江船只的大幅度增加对白鳖豚的危害有：

(1) 白鳖豚在长江活动的水体空间越来越小。

(2) 由于机船噪声干扰白鳖豚声呐系统，造成螺旋桨击毙白鳖豚的机会越来越多。在我们所获死亡白鳖豚标本中，有的头骨被击得粉碎，脑浆流出而死；有的拦腰斩断，内脏四溢而亡，真是惨不忍睹(图版XXIV，B、C)，这类死亡比例中游占6%，下游多达32%(表5-18)。

(3) 噪音污染，破坏白鳖豚正常生活规律，社群活动行为及身体健康，在科研考察中，经常见到白鳖豚受船舶惊吓而四处逃窜。

表 5-19 长江中下游运输船只密度统计(1989 年)

Table 5-19 Density of navigation ships and boats in the middle and lower Yangtze(1989)

编号	地点		定点密度(艘/h)	流动密度(艘/h)
1	宜昌	Yichang		11.5
2	沙市	Shashi		6.3
3	石首	Shishou	3.6	7.9
4	城陵矶	Chenglingji	11.7	13.5
5	洪湖	Honghu	9.9	17.0
6	武汉	Wuhan		8.6
7	燕子窝	Yanziwo	12.4	14.4
8	湖口	Hukou		14.4
长江中游平均			9.4	13.0
9	安庆	Anqing		37.5
10	铜陵	Tongling		24.4
11	芜湖	Wuhu		56.9
12	南京	Nanjing	128.3	
13	世业洲	Shiyezhou	111.5	
14	镇江	Zhenjiang	122.7	103.5
15	江阴	Jiangyin	71.3	
16	浏河口	Liuhekou		53.9
长江下游平均			101.8	67.4

航运业的另一威胁是清理、整治航道,爆破淤滩暗礁,这又给白鳖豚增加了一个危害因素,因为它们有可能被炸死。最为突出的例子是:1974 年 2 月,航道部门在湖北洪湖燕窝,清理航道爆破作业时,将一个 4 头白鳖豚的群体全部炸死,其中还有 2 头怀孕雌豚,其情景使人不寒而栗。

3. 水体污染

尽管长江干流由于其巨大稀释作用,总的来看水质尚好,符合国家地面水一级标准。但靠近大中城市的下游江段,特别是沿岸带,水质污染却极为严重。这是由于工农业生产中,未经处理的工业废水和农田污水大量排入长江所致。我们可以看到沿江纸厂排出大量臭味的泡沫污水,又可见到农田带农药的污水及化工厂残毒物质的污水注入长江。水体污染严重影响到鱼类资源,导致白鳖豚食物鱼资源下降,同时白鳖豚吃了污染的鱼类,影响了它们的健康和繁衍能力。陆佩洪(1983)、杨利寿等(1988)分析了白鳖豚肌肉和内脏中 BHC 和 DDT 的含量,有的器官组织分别高达 4.9×10^{-6} 和 15×10^{-6}。而海洋中的条纹原海豚体内含量分别为 0.003×10^{-6}—0.2×10^{-6} 和 0.03×10^{-6}—2.18×10^{-6}。相比之下白鳖豚体内有毒物质高得多,说明长江水体已受到有机农药的污染。据考察,受到污染的大回水区不再有白鳖豚的分布。例如,南京大厂镇江段,具有多处大回水区,当地渔民反映过去常有白鳖豚群体在此活动。自从大厂建成为以化工、冶金、电力为主的工业区后(如南京钢铁厂、南京化学工业公司、南京热电厂等),每年约有 1.7 万 t 有毒物质如氨、氮、砷、酚、氰、氟及重金属排入长江。特别严重的是,河床底质长期受到重金属污染,9 项

检测项目中有8项超标,3项超标率达90%。最大检出值超标达25.8倍(表5-20)。渔民反映,这里已几乎无鱼可捕,也多年不见白鳖豚的踪影了。

表5-20 南京大厂镇河段底质污染情况(引自华元渝等,1994)

Table 5-20 The pollution situation on the bottom of the river near Dachang Tow, Nanjing (from Hua *et al.*, 1994)

项目	As	Hg	Pb	Cr	Cd	Cu	Zn	Co	Ni
测点数	10	10	10	10	10	10	10	10	10
实测值范围 $\times10^{-6}$	6.186—52.1	0.036—0.22	10.4—154.6	3.3—53.7	0.00—1.06	29.3—831.9	73.4—387.9	10.2—86.9	14.1—36.4
均值 $\times10^{-6}$	19.66	0.099	56.46	24.75	0.182	229.82	228.88	28.07	26.19
超标测点个数	5	1	7	—	2	9	9	9	1
超标率(%)	50	10	70	—	20	90	90	90	10
最大超标倍数	4.92	1.29	6.23	—	5.58	25.8	5.05	6.2	1.04

长江水体污染的另一威胁来自有毒物品的泄漏事故,有时可导致灾难性的后果。1989年8月湖北省宜昌市一辆载有5t的黄磷车,翻倾入宜昌县黄柏河,很快流入长江,引起大量鱼类死亡,随后在相距数百km的洪湖江段发现死因不明的白鳖豚,可能与这起事故有关。

4. 长江兴修水利设施及大型水利工程建设

(1) 通江湖泊修建小型坝闸　长江中下游有附属大小湖泊1 133个,这里水质肥沃,水生生物丰富,是鱼类索饵回游的优良场所,同时在湖泊入江处,形成大回水区,历来都是白鳖豚栖息活动及摄食场所。自50年代以来,为了防洪、抗旱,解决农田水利问题,现在除洞庭湖和鄱阳湖外,已全部修建了坝闸,阻隔了鱼类的江湖回游,鱼类无法到湖泊索饵肥育,也无法到长江生殖、越冬,鱼类资源受到严重影响。以鱼产量较为丰富的洪湖为例,自1950年建设坝闸以来,水产收购量,以每年减少30%的速度下降。再看长江的捕捞量,以江苏的长江段为例,渔产量由过去的8 000t下降到近年来的3 000t(Zhou and Li, 1989)。白鳖豚仅以鱼为食,长江中下游鱼产量急剧下降,对白鳖豚食物营养不足,对其生长、繁衍都会带来极大不利。此外,江湖阻隔后,自然生态环境遭到破坏,水文状况发生改变,适于白鳖豚栖息活动的大回水区消失,减少了白鳖豚赖以生存的空间。

(2) 拦江筑坝和河道裁湾取直　50年代初期,白鳖豚在宜昌时有出现,当时它们的分布范围是宜昌以下的长江中下游。到80年代初,我们的实地考察,白鳖豚的分布上限在枝城。而至90年代初,发现白鳖豚分布上限又向下移至荆沙江段。分析其原因,认为与近20年来长江中游开展的一系列水利工程建设有很大关系,最为瞩目的要数葛洲坝建坝及下荆江江段系统人工裁湾取直工程。葛洲坝水利工程是1970年动工,1991年全部竣工投入使用的。长江中游素有九曲回肠的荆江,对下荆江裁湾取直,被裁去74km,这些工程无疑给国民经济建设带来极大好处。但由于工程施工大大地改变了长江的水文地理条件,如宜昌至云池河床刷深约40cm,枝城至城陵矶长约400km江段流速增大,河床

下切，造成河床面粗化，大多数回水区遭到破坏，许多原有白鳖豚分布的地方，已再见不到白鳖豚活动了。估计白鳖豚被迫下移，这样白鳖豚分布上限又从枝城下移 110km 至荆沙市，它们的分布区压缩约 10%（华元渝等，1992，1994）。

（3）三峡工程对白鳖豚种群影响的评价　　举世瞩目的三峡工程，是一项具有防洪、发电、航运、供水等巨大经济效益和社会效益的伟大工程，但它的建设对长江的生态与环境的影响也是广泛而深远的。白鳖豚是长江生态系统中的一员，而且目前它已处于濒危状况，如不认真对待，将会促使它加快速度在地球上消亡。

从 10 多年的科研工作所获得的资料来看，白鳖豚的分布上限没有超过宜昌，也就是说三峡地段是白鳖豚在分布上的一个地理屏障，因此三峡大坝的建立，不会出现阻隔分离它们群体的问题。但三峡工程的兴建，不可避免的将使中下游水文地理环境产生显著变化，这样随之也给白鳖豚带来种种威胁其生存的因素。为此，我们作为白鳖豚保护与抢救的科研工作者来说，不仅仅是探索和评价三峡工程对白鳖豚的影响，更为重要的是找出相应的保护和增殖对策，这才是积极的、有意义的（陈佩薰等，1987，1993）。

预计三峡枢纽蓄水运转后，坝下河床受下泄水的长距离冲刷，将出现一个新的造床过程。河道演变的总趋势是堵汊并流，河宽、河深加大，河势趋于稳定（唐日长，1985，尤联元等，1987）。坝下长江干流的水文、地理环境将发生一系列变化，这些变化对白鳖豚的生存会产生极大的影响。

① 缩短白鳖豚在中游分布的范围：葛洲坝至江口江段，河岸稳定，抗冲性强，河床卵石夹沙，但经数年冲刷后，该江段大都为卵石河底，大回水区消失，水质清澈，白鳖豚栖居生境消失，该江段再不会有白鳖豚分布了。江口至藕池口江段，河床为冲积沙层，下泄水使河床发生激烈冲刷，导致河床面粗化，汊道淤堵断流，水流趋中走直，洲滩被冲走或切掉，大回水区消失。导致鱼类资源量下降（曹文宣等，1987），白鳖豚栖息地丧失，白鳖豚分布范围可以继续下移至石首江段。

② 运输船只给白鳖豚的危害将增加：三峡大坝下的水位将提高，水流趋缓，河势稳定，航道水深增大。航道的改善，将使长江中游的运输船只数量和吨位增大，这种航运增繁的趋势，会使白鳖豚生存空间更加缩小，被螺旋桨击毙的机会增加。同时，水下噪音污染的增大，对白鳖豚的健康和正常生活都将带来不利影响。

③ 白鳖豚的食物鱼类资源减少：建坝后的调蓄作用，使坝下涨水过程、流态、流速发生变化，将给坝下长江中游家鱼繁殖带来极为不利的影响，使鱼类资源减少。这样相应地也将间接影响白鳖豚食物资源丰度，给白鳖豚的生存带来不利（曹文宣等，1987）。

④ 一些意外的死亡将减少：三峡大坝建成后，由于水库调蓄作用，洪峰被大幅度削平，中水期持续时间较长，枯水期流量将有所增加，可以补偿河床刷深水位降低值，使航道水深增加。这样一来，由搁浅引起的死亡可望减少。另外，由于航道改善，治理航道工程会减少，从而因爆破航道导致白鳖豚死亡机会亦将减少。

综上所述，三峡工程与白鳖豚的关系是既有弊又有利，但终究是弊明显大于利。可我们认为作为白鳖豚保护工作者，有责任将这种影响逆转，尽量采取有效措施以减轻甚至挽回这个损失。

参 考 文 献

尤联元、金德生、陈洁、郭庆伍、马绍嘉、洪笑天,1987,三峡工程修建后下游河道变化预估,长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究论文集,北京,科学出版社,260—276。

王丁,1994,白鳖豚的保护,Baiji Population and Habitat Viability Assessment Workshop Report 17 Nov., 1994, Nanjing 151—165。

中国科学院地理研究所、长江水利水电科学研究院、长江航道局规划设计研究所,1983,长江中下游河道特性及其演变,北京,科学出版社,272。

石铭鼎、栾临滨等,1980,长江,上海教育出版社。

华元渝、陈佩薰,1992,葛洲坝枢纽建成后宜昌至城陵矶河段变化对白鱀豚影响的调查,水产学报,16(4): 322—329。

华元渝、高四新、张建,1994,白鱀豚自然种群数量及其锐减原因的分析,Baiji Population and Habtat Viability Assessment Workshop Report 17 Nov., 1994, Nanjing, 41—45。

华元渝、张国成、赵庆中、陈佩薰,1986,白鱀豚栖息活动区及其群体活动的初步研究,环境科学与技术,35(4): 2—5。

华元渝、孙江、周开亚、张国成、赵庆中,1991,长江白鱀豚行为的观察,兽类学报,11(4): 241—245。

刘仁俊,1989,白鱀豚生殖规律的研究,国际野生动物保护学术会议论文集,310—312。

西协昌治,1965,鲸类、鳍脚类,东京大学出版会,257—258。

邢湘臣,1965,有关白鱀豚的一些资料,动物学杂志,(2): 66—68。

陈佩薰、华元渝,1987,三峡工程对白鱀豚的影响及物种保护,长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究,北京,科学出版社,30—41。

陈佩薰、刘仁俊、林克杰,1982,白鱀豚的生殖和生殖系统,海洋与湖沼,13(4): 331—337。

陈佩薰、林克杰、华元渝,1985,白鱀豚生物学特征的初步研究,水生生物学报,9(1): 171—175。

陈佩薰、刘沛霖、刘仁俊、林克杰、Pilleri G.,1980,长江中游(武汉—岳阳江段)豚类的分布、生态、行为和保护,海洋与湖沼,11(1): 73—84。

陈佩薰、张先锋、魏卓、赵庆中、王小强、张国成、杨健,1993,白鱀豚的现状和三峡工程对白鱀豚的影响评价及保护对策,水生生物学报,17(2): 101—111。

陈宜瑜、陈炜,1975,关于白鱀豚的一些形态解剖资料,水生生物学集刊,5(3): 360—370。

寿振黄等,1962,中国经济动物志,兽类,291—293。

陆佩洪、夏娉娉、黄斌,1983,白鱀豚和江豚肌肉中某些有毒物质和重金属的初步分析,南京师院学报(自然科学版),(1): 77—79。

杨利寿、余多慰、陆佩洪,1988,白鱀豚和江豚体内几种金属元素和有机氯的研究,兽类学报,8(2): 122—127。

严钦尚等,1985,地貌学,高等教育出版社,57—68。

张先锋,1987,齿鲸类的齿与年龄,科学进展,(5): 21—28。

张先锋,1994,白鱀豚的种群现状及保护, Baiji Population and Habitat Viability Assessment Workshop Report, 17 Nov, 1994, Nanjing,61—68。

林克杰、陈佩薰、华元渝,1985,白鱀豚种群数量及资源保护,生态学报,5(1): 77—85。

周开亚,1982,关于白鱀豚的保护, 南京师范学院学报(自然科学版),(4): 71—74。

周开亚、李悦民,1981,白鱀豚的肠,动物学报,27(3): 248—253。

周开亚,张行端,1991,白鱀豚及长江流域的濒危动物,译林出版社,185。

周开亚,G.皮莱里、李悦民,1980,长江下游南京至太阳洲江段白鱀豚和江豚的观察,兼论白鱀豚对环境的某些生理适应,中国科学,(4): 365—369。

周开亚、孙江、高安利,1994,长江下游白鱀豚种群现状,Baiji Population and Habitat Viability Assessment Workshop Report, 17 Nov., 1994, Nanjing: 83—99。

周开亚、钱伟娟、李悦民,1977,白鱀豚的分布调查,动物学报,23(1):72—79。

周开亚、李悦民、西胁昌治、片冈照男,1983,长江下游南京至贵池段白鱀豚的观察,兽类学报,2: 253—254。

姚闻卿、胡菊英,1974,安徽捕获的白鱀豚,淡水渔业,(7): 16—17。

康定星,1964,白鱀豚的解剖和习性纪要,动物学杂志,(1): 6。

唐日长,1985,三峡水利枢纽工程泥沙问题初步研究,人民长江,(1): 7—14。

曹文宣、余志堂、许蕴玕、邓中粦、蔡明艳,1987,三峡工程对长江鱼类资源影响的初步评价及资源增殖途径的研究,长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究论文集,北京,科学出版社,30—41。

蒋德隆,1991,长江中下游气候,气象出版社。

国家环境保护局,中国科学院国家计划委员会地理研究所,国家环境监测总站,南京大学,1990,长江水系水环境背景值研究第一册,长江水系水体背景值(国家"七五"科技攻关环保项目,编号75-60-01-02)。

淡水渔业研究中心,1990,长江下游发现一头起水后死亡的白鱀豚(消息),水产学报,14(2): 9。

湖北省水生生物研究所鱼类研究室,1976,长江鱼类,北京,科学出版社。

Chen Peixun and Hua Yuanyu, 1989, Distribution, population size and protection of *Lipotes vexillifer*, Occasional Papers of the IUCN SSC, 3: 81—85.

Chen Peixun, Zhang Xianfeng and Wang Ding, 1992, Conservation of the endangered baiji, *Lipotes vexillifer*, China. In:

Proceedings of the 23rd Annual IAAAM Conference, Hong Kong, 2—10.

Gao Anli, Zhou Kaiya, 1992, Sexual dimorphism in the baiji, *Lipotes vexillfer*, Can. J. Zool., 70: 1484—1493.

Hua Yuanyu, Zhao Qingzhong and Zhang Guocheng, 1989, The Habitat and Behavior of *Lipotes vexillifer*, Occasional Papers of IUCN SSC 3:92—98.

Hua Yuanyu, Zhang Xianfeng, Wang Xiaoqiang and Wei Zhuo, 1990, A note on the feasibility of using photo-identification techniques to study the baiji (*Lipotes vexillifer*) Rep. Int., Whal. Commn (Special issue 12): 439—440.

Liu Renjun, 1988, Study on the regularity of reproduction in *Lipotes*, Aquatic Mammals, 14(2): 63—68.

Liu Renjun, 1991, New advances on population status for *Lipotes vexillifer* and *Neophocaena phocaenoides* in the Changjiang River, Aquatic Mammals, 17(3): 181—183.

Nishiwaki, M. and Yagi, T., 1953, On the age and the growth of teeth in a dolphin, (Prodelphinus caeruleo-alous)(I). Sci. Rep. Whales Res. Inst., Tokyo, 8:133—146.

Norman, J. R. and Friser F. C., 1948, Giant fishes, Whales and dolphins, Lendon, 242—243.

Perrin W. F. and Brownell Jr. R. L., 1989, Report of the Workshop, Occasional Papers of IUCN/SSC, (3), 1—6.

Perrin, W. F. and Myrick, Jr. A. C. (eds), 1980, Age determination of toothed whales and sirenians, Report of the Workshop. Rep, Int., Whal. Commn (special issue 3), 1—50.

Pope C. H., 1940, White flag. China's animal frontier, Viking Press, New York, 177—183.

Report of the meeting on smaller cetaceans. Montreal, April 1—11, 1974, Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 32(7):889—983.

Toshiro Kamiya, Fusao Yamaski, 1974, Organ weights of *Pontoparia blainvillei* and *Platanista gangetica* (Platanistide), Sci Rep. Whales Res. Inst., 26:265—270.

Zhou Kaiya and Li Yuemin, 1989, Status and aspects of the ecology and behaviour of the Baiji (*Lipotes vexillifer*) in the lower Yangtze River, Occasional Papers of the IUCN SSC, 3: 86—91.

第六章　白鱀豚的行为

白鱀豚是二次入水的动物。其陆生祖先在由于环境的变迁被迫重新回复到水中生活后，受到了生活环境巨大改变的种种压力，使身体构造发生了适应性的变化。与此同时，各种适应水生生活的行为也就相应地得到了发展。形成了自己独特的行为型式和行为方式。

一、行为型式

1. 摄食行为

(1) 食性　白鱀豚以长江中各种鱼类为食(详见第五章第六节)。对鱼的种类选择性比较广泛，不论上层鱼类或底层鱼类都食，但因受咽喉大小的限制，故对所食鱼的大小有所选择，鱼体长一般在25cm以下，即体重100g左右的鱼是白鱀豚较为喜爱的食物(陈佩薰等，1985，1986)；但也可吞食比这大得多的鱼，如在人工饲养条件下通常喂食250g左右的鱼，有时甚至可食500g以上的鱼。

(2) 摄食时间和区域　在自然条件下，白鱀豚通常在清晨和傍晚摄食，亦可发生在夜间。摄食活动多发生在靠近沙洲的浅滩或支流河口的浅回水区。这些地方长年受水流和风浪的作用，水下形成一些沙埂、泥埂及深潭，造成比较特殊的底形，浅滩上沉积大量沃土，枯水期逐渐露出水面，表面生长着大片杂草，洪水期又被淹没。这样的区域水的流速较缓，鱼类饵料生物丰富，是鱼类活动和白鱀豚摄食的重要场所(华元渝等，1986)。

(3) 摄食方式　一般而言，白鱀豚的捕食过程可分为围赶、捕食、歇息三个阶段。有时可观察到一群白鱀豚成扇形散开，个体大的处在扇形两端，而个体小的居中向鱼群推进。接近鱼群后迅速形成一个圆形的包围圈。此时鱼群明显受惊，不断跳出水面。白鱀豚开始冲入包围圈，不断吞食。这一过程通常持续15min左右。而后已经饱餐的白鱀豚开始休息，漂浮在水面一段时间，或沿缓流而上，或顺主流而下(华元渝等，1987，Hua *et al.*, 1989)。

在人工饲养条件下，白鱀豚仍只以鱼为食。我们曾试喂鱼形萝卜、水果等，白鱀豚一概拒食。即使吞入口中，也会马上吐出而不吞咽(陈佩薰等，1986；林克杰等，1985)。

捕食时，通常以身体向左侧弯曲，逆时钟方向游向饵鱼，吻端靠近鱼的左或右后方，然后迅速地将鱼衔住，再将鱼头调整在上、下颌中间，随即咽下。吞咽时总是鱼头朝内。白鱀豚捕获食物时其体轴与食物的连线是一条直线的情况很少出现。吞下一条鱼后，通常以逆时针方向绕一小圈再捕食下一条鱼(Liu and Wang, 1989)(图版XXXII，F)。

有时鱼为了躲避白鱀豚的追击，会紧贴池壁游动。这时白鱀豚就紧随其后，鱼快它也快，鱼慢它也慢。一直到伺机捕获到口为止。有时鱼在池子角落麇集，白鱀豚不敢过分靠近，就突然向鱼群猛冲过去，在快接近池壁时突然急转体掀起一股冲击浪，同时尾鳍猛烈击水，以波浪的冲击力驱散鱼群，然后分而食之。我们观察到只要在未饱食的情况下，它几乎昼夜都可食鱼，与外界环境和昼夜变化的关系不大(林克杰等，1985)。

(4) 人工喂食的适应性　　自 1980 年以来，我们曾先后饲养过 4 头白鳖豚。一般而言，白鳖豚在刚刚进入饲养池的头 5—7 天内拒绝进食，对投入池内的不管是死鱼还是活鱼都没有摄食反应，置之不理，这是白鳖豚对环境的突然剧烈变化所作出的应激性反应。一个星期后，它开始进食，食量由少而多，渐渐开始适应人工饲养的环境。人工饲养通常是用投喂和手喂两种方式喂食，即把鱼直接投入水中或用手拿鱼击水，让白鳖豚直接从投饲者手中取食。后者必须经过一段时间的训练和适应后才能完成(王丁和景荣才，1990；林克杰等，1985；Chen and Liu，1989)。

(5) 食物选择性和食量　　在人工饲养条件下，白鳖豚对不同种类的鱼的选择性不是很强。但一般而言，喜食优质鱼(如鲤、鲫等)，不喜食品质较差的鱼(如鲢、鳙等)；喜食较肥的鱼，不喜瘦弱的鱼；喜食活鱼和新鲜鱼，不喜食冻鱼；喜食个体适中的鱼，不喜过大或过小的鱼。日食量一般为其自身体重的 10%—11%，夏季为 8%，冬季为 12%，分早、中、晚三次喂食(陈佩薰等，1986；Chen and Liu，1989)。

(6) 食前和食后行为　　人工饲养的白鳖豚，在早、中、晚喂食前 1h 左右，行为型式极为单调，仅为逆时针或顺时针方向游泳，以逆时针方向为多。游速较快并从水下呼出一连串大气泡，呼吸短促有力。尾部有力地上下摆动，掀起阵阵大浪，有时并伴随有叫声，从水下冒出一串串气泡。食后活动即变得平静、缓慢，呈休息状态(刘仁俊等，1987)(图版 XXXIII，C 和 XXXIV，F)。

2．性行为

(1) 交配行为　　白鳖豚的交配行为通常可分交配前(包括追逐、合游和摩擦行为)、交配和交配后三个阶段。交配前雄豚常追雌豚，从雌豚后方或侧后方接近雌豚，用吻突、头颈部触压雌豚的相同部位，接着有力地相互摩擦，搅起阵阵水花。交配时雄豚躺在雌豚背上，雌豚身体迅速侧向一边，两豚腹部紧贴，头部向水中猛扎，双尾重叠露出水面，摆动 3—5 次(约 20s)以后，头挨头紧贴出水；这一过程可重复数次。交配后白鳖豚分开侧躺在水中，一侧胸鳍伸出水面，也许是在作短暂的休息；约 30s 后，两豚即分头游开(华元渝等，1987；Hua *et al*.，1989)。

(2) 发情和发情期　　和其他动物一样，白鳖豚的发情是有季节性的。根据野外观察和人工饲养条件下的研究表明，白鳖豚一年有两个发情高峰。即春季的 4—5 月和秋季的 8—9 月。发情期内，白鳖豚变得十分活跃，脸颊部颜色由白渐渐变红，并扩展至整个腹部(刘仁俊等，1987；Hua *et al*.，1989；Liu and Wang，1989)。

(3) 自慰行为　　在人工饲养条件下发情期内常可观察到白鳖豚的自慰行为。最主要的表现是阴茎伸出体外，长 10cm 左右。此时，白鳖豚或沿池子快速游动，激起阵阵波浪；或身子自立，上半身伸出水面，左右前后猛烈摆动，击得水花四溅；或腹部贴墙，头部伸出水面，身子或阴茎在池壁上摩擦；或在置于池中作为其玩具的救生圈上翻上越下，或托住救生圈游动，让身子在圈上摩擦等。其腹部特别是生殖裂区由于经常摩擦，而留下擦痕。在这些行为发生过程中常伴随有尖锐刺耳的哨叫声。发情期内，这些行为一天可出现很多次(王丁等，1989a，b；刘仁俊等；1987；Wang *et al*.，1989)(图版 XXXIV，E)。

3．社群行为

(1) 集群　　长江中白鳖豚通常 5—6 头(多则 10 多头，少则 2—3 头)集群活动。群

体由成年豚、未成年豚、幼仔等组成。群体行进时，由强壮的个体导游，大豚携仔居中，未成年豚尾随，呈“∧”状排列。捕食时，常成横排或扇形向前推进。携带未成年豚的成年豚与未成年豚一般是同步出水呼吸，两豚紧紧相随。受惊时(如船只接近)，大的群体常迅速分成几个小群体，向不同方向深潜水，绕过危险源后从不同地方出水，待危险过后再重新聚集成群(华元渝等，1987；刘仁俊等，1986)。

白鳖豚夜间也保持集群状态，停留在水流平缓的静水区内。从停泊在附近的考察船上，可以听到它们呼吸时拖长声调的“qu”声(华元渝等，1987；Hua *et al*.，1987)。

1986年3月底，我们捕获了一雄性成年和雌性未成年的2头白鳖豚。当它们一先一后放入饲养池后即迅速汇合，3天之内都从不分开。雄豚始终处于雌豚的外侧，即在雌豚和池壁中间，呈一种保护形式。3天以后，雌豚因摄食等原因会偶而离开雄豚，但绝大多数时间仍在一起游动(Liu and Wang，1989；Wang *et al*.，1989)。

当雌豚“珍珍”自动进入已在人工饲养条件下生活了近7年的另一雄豚“淇淇”的饲养池后，开始2天两豚特别是“淇淇”显得十分紧张，各自在池的一边活动，从不超过界限，但不停地相互探视。3天后，两豚已开始一起游动。再过几天后，两豚已显得相当亲密，经常在一起游泳、戏耍了。除了“淇淇”身上有一些牙痕外(这可能是两豚在玩耍时，“珍珍”咬下的)，我们没有观察到其他的“侵犯”或“攻击”行为(王丁等，1989a，b)。

(2) 抚幼行为　长江中我们常观察到大个体白鳖豚与幼豚一起与群体中其他成员分开，成双在缓水区或静水区活动。这些活动一般包括背带、托带、护带、喂带等几种形式(华元渝等，1987；Hua *et al*.，1989)。

1) 背带：幼体的头靠在成体的背上，当成体呼吸背部露出水面时可以看到幼体，多发生在静水区域。

2) 托带：成体用胸鳍托住幼体，两豚同时潜水和出水呼吸，即使长潜水也是如此。这可能是一种紧急救护措施，因为该行为多发生在船只接近白鳖豚群体时。

3) 护带：幼豚紧靠成年豚游动，或前或后，或左或右，形影不离。这时的幼豚出水次数大约是成年豚的3倍。这种行为可能既有保护也有训练的意义，多发生在行进过程中。

4) 喂带：有时我们观察到成年豚侧向一边，胸鳍伸出水面，腹面与幼豚相对，而幼豚则用吻端压在其腹部，我们认为这是一种哺乳行为，即喂带行为。

(3) 救护行为　1986年3月底捕获的雄豚“联联”进入人工饲养池一个星期后，即因病出现出水呼吸困难。为支撑身体常靠近池壁。吻端因与水泥池壁碰撞而受伤出血。在这个期间，“珍珍”常潜入其身下，将“联联”托出水面使其能完成呼吸。又常常将身体处于“联联”与池壁之间以防“联联”撞墙碰伤。到后来，“联联”的病越来越严重，体力愈是不支。只要“珍珍”一离开，“联联”就会撞墙。这时即使“珍珍”正在进食也会立即停止以赶去救护“联联”，绝大部分时间与其紧紧相随。这一行为一直持续到最终“联联”因病情严重而被起水转入室内治疗池为止(Liu and Wang，1989)。

4. 受惊行为(避险行为)

在长江中，当船只靠近或其他原因使得白鳖豚受惊时，如前面集群行为所述，白鳖豚的最一般的反应是迅速向深水区长潜水，有时可长达6—7min，从远离危险区域的地方出水。即使被船只逼到离岸很近的地方，也不冲向浅滩，宁可从船侧、船底潜入深水区。于

扰噪声弱则绕过声源。遇暴风雨则躲在上风区或躲进风浪袭击不到的夹江。当危险过后,大豚迅速向小豚靠拢,群体重新集合(陈佩薰等,1985;Hua *et al*., 1989)。

在人工饲养条件下,白鳖豚也常常受到突然丢入池中的异物如水听器、救生圈、皮球等的惊吓。通常的反应是迅速远离干扰源,呼吸加快,在远处作小圈游动。过一阵子后再转头对干扰源进行探视。确定没有危险后再慢慢接近甚至进而把这些当玩物而戏耍起来。如救生圈、皮球等后来就成了白鳖豚的玩具了。一般情况下,受惊反应持续时间不长,仅以分钟计。但有一次,当我们将一铝管作的栏栅放入池中以进行声学实验时,由于整个池子被切隔成两半。"淇淇"显得十分惊慌,龟缩于池子的一角在直径仅约2—3m的小范围内不停地快速转圈游动,呼吸特别急促,一直持续数小时后才渐渐平静下来(王丁等,1989 b)。

5. 游泳行为

白鳖豚正常游泳时是以腹面朝下,姿态端正,靠尾部上下摆动推动身体前进。当探测前方目标时,头部不断地左右摇晃。一般速度转向时,身体或左或右弯曲侧转。在急游转向时,身体急速向腹面弯曲,同时亦向一侧转体,转向的角度也较大。既有顺时针方向游,也有逆时针方向游。这种游泳姿式是白鳖豚在长江中和饲养池里最典型的方式。据观察,这种游泳姿势常见于它出没水面呼吸,探索生活环境和觅食等(林克杰等,1985)。游泳速度有快有慢,变化很大。粗略测定,在饲养池中,一般游速度为1m/s左右;而在长江中,白鳖豚群体巡游前进顺流游速为7.5—9.7km/h,逆流游速为2.7—4.9km/h(图版XXXIV, A, B)。

白鳖豚对水的流速有一定的选择性。逆流时豚群沿缓流航道前进,当遇到弯曲河道主流改变方向,豚群即横过急流,到另一侧的缓流航道继续往上游;顺流游动时,则是选择急流,常在主航道上顺流而下。

在人工饲养条件下,白鳖豚的游泳除前述的正常姿势外还有多种形式,这些形式在长江自然条件下不易观察到(刘仁俊等,1987;林克杰等,1985;Liu and Wang, 1989)。

(1) 侧泳　是较为常见的游泳姿式。一般是在喂食之后经过一段时间的匀速慢游后,便开始欢快活动。以顺时针方向迅速侧向转体90度,随即向前窜游,速度比一般常规游泳大大加快。而后则以逆时针方向回转身体,恢复正常姿式游泳。这种姿式游泳一般是在水表面进行,有时可见到其鳍肢露出水面。这种行为一般出现在白鳖豚较为兴奋的时刻(图版XXXII,B)。

(2) 仰泳　同样也是一种较为常见的游泳姿式。以顺时针方向侧向转动体轴180°,腹部朝上,有时腹面的前半部包括长吻、一对鳍肢都暴露在水面。也一般只出现在水表层。仰泳有时出现在白鳖豚的急剧活动期,有时在白鳖豚活动平缓期也可见到(图版XXXII,D和XXXIV,A)。和侧泳一样,仰泳的距离一般也很短。但这两种姿式有时也会出现绕池子数周的情况。

(3) 滚泳　当白鳖豚处于兴奋状态时,常可见到它快速地边滚边向前游进。滚泳有两种情况,一种是以顺时针方向绕体轴翻滚180度,腹部朝上,但又立即以逆时针回转身体,背部又朝上,连续反复多次地快速滚动前进;另一种是以顺时针方向侧向转体360度,一个方向连续地转体游泳前进。

(4) 跳跃　跟一些海豚不一样，跳跃对于白鳖豚而言是一种比较少见的行为。白鳖豚的跳跃有截然不同的两种方式。一种是每当它跳跃之前游动十分欢快，往往急速地窜游。跳跃时，身体猛然前冲，跃出水面。此时体轴与水面夹角较小，背部拱起。体轴成弓形，入水时吻端首先抵触水面，而尾部一般能见到尾柄露出水面；另一种是在正常游泳中，没有急速窜游和尾部大幅度摆动的起跳姿势，只是在一般速度游泳时突然向前上方猛冲跃出水面，体轴与水面夹角大于45度，出水后身体挺直，体背并不弯曲。入水时体腹面首先抵触水面，身体近乎平躺跌落，尾鳍不暴露。

(5) 直立和倒立　直立有两种情况：一种是白鳖豚快速以正常姿势向前游动，然后突然停住，身体乘势向上窜起，使背鳍以上的身体部分直立于水面之上，同时头部左右剧烈摆动，发出吱吱的叫声。这是一种极度兴奋的行为表现；另一种是白鳖豚静静地把头伸出水面，身体直立于水中，静观周围事态。类似于海豚的侦察行为(spy-hopping)，有时可看到白鳖豚以这种姿势向前向后移动数米　倒立是一种极少见的行为型式。倒立时，吻端垂直指向池底，维持在原处，并不立即下潜，尾鳍伸出水面摇摆，幅度较小。数秒钟之后，才迅速潜下，向深处游去。有时，在参观者来临时出现这一动作，人们戏称为这是白鳖豚表示欢迎的意思(图版ⅩⅩⅩⅢ，A，B)。

(6) 浮卧和滑行(休息行为)　此时，白鳖豚身体舒展地伸直漂浮在水面上。鼻孔及头部上部露出水面，尾部不再频频摆动。身体浮在水面静静地躺几秒钟后，再微微摆动两下尾鳍，缓慢地向前滑行一点距离，保持身体不致下沉。这种行为多发生在夜间，是一种休息行为。有时浮卧时是仰身姿态(图版ⅩⅩⅩⅢ，C)。

6. 嬉戏行为

在人工饲养条件下，白鳖豚除了一些如摄食、性行为等明显与某种生理需要有关的行为外，也表现一些看来并不是满足某种明显的生理需要的行为，如嬉戏行为。白鳖豚在池子中嬉戏的行为有多种多样，可分如下两种类型(刘仁俊等，1987；Liu and Wang，1986)。

(1) 不带玩具　白鳖豚常在饲养池抽水管处上下活动，或以身体摩擦橡皮水管，或从2根橡皮管中间来回穿行。有时它在进水管滴水处让水滴在吻或身体上，在下雨天，亦用同样方式让身体接住从饲养池屋顶漏水处滴下的水。有时用吻端反复挑拨落在水面上的昆虫或其他异物，或将它们咬住又放掉，如此反复多次。有时用尾鳍使劲上挑，挑起一片水花洒向天空，一下又一下，连续多次，非常有节奏感。有时吃鱼吃得差不多时，以后给它的鱼并不立即吞掉，而是轻轻咬住后又放掉了，尾随游走的鱼，然后再咬住，再放掉，反反复复。直至鱼精疲力竭，才最后张开大嘴将它吞下。而前面在游泳行为中谈到的侧泳、仰泳、滚泳、跳跃、直立等也可能具有自我娱乐的意义。

(2) 带玩具　白鳖豚"淇淇"绝大多数时间单独饲养在一个池子中。为了消除它的寂寞，我们常将两个救生圈有时也将皮球或塑料球丢入水中让它戏耍。多年来的实践，使白鳖豚能极其熟练地以多种方式玩耍救生圈，它有时身体从圈的外侧突然伸出水面，上半身爬上游泳圈，或仅用吻搁在圈上推着圈向前游；有时把圈推到池边，头部压圈，让圈竖起并靠住池壁，身体慢慢向前游动，使圈在它的身上从头部一直转到尾部。但它主要的玩圈方式是头部从水中钻到圈下并从圈中伸出水面，让额隆顶着圈的内沿前进，或让背鳍挂住圈的内沿、或让一侧鳍肢挂住圈而带圈前进　这一行为有时可持续数小时，有时甚至在

休息行为时也将圈套在背鳍上(图版ⅩⅩⅩⅣ，D)。

白鱀豚玩球的方式也是多种多样。或用吻端顶住球前进;或用吻端将球挑向空中,待球落下,又复挑起。或将球压向水下,反弹至空中。不过,由于球放在池中的时间比圈放在池中的时间要少得多,使得白鱀豚玩球的技术不如玩圈那么熟练(图版ⅩⅩⅩⅣ，C)。

有时,白鱀豚也将临时因实验或其他需要而置入池中的物体作为戏耍的对象。如将作声学实验的水听器挂在背鳍上让其从身上滑过,或用吻去拨拉水听器等(王丁等,1989b; Wang *et al.*, 1989)。

总之,白鱀豚在人工饲养条件下表现了很多嬉戏的行为。这是白鱀豚在特殊环境条件下因处境孤独而发展的自娱自乐的行为,还是白鱀豚的天性使然,目前尚不清楚。在自然条件下,也许是由于观察条件的限制,我们还没有观察到白鱀豚的嬉戏行为。但不能排除嬉戏行为在自然条件下依然存在。如前面在性行为中谈到的交配前后追逐行为,可能除了求偶功能外,还有玩耍的意义;再如大豚带小豚的护带行为,除了保护的意义外,对小豚而言,也有嬉戏的性质。

7. 呼吸和潜水行为

白鱀豚在正常游泳时,一般是以巡游速度慢慢地使身体上升并出水呼吸,动作平缓从容。首先是额隆和喷水孔露出,接着吻前端划破水面背部显露,背鳍出水,眼睛抵水平线。它的出水呼气和吸气持续时间很短,一个完整的呼吸周期 1s 之内就完成了,这和别的几种淡水豚相近(Hague *et al.*, 1977)。一个完整的呼吸过程如图 6-1 和图版ⅩⅩⅩⅡ，A, C, E 所示。

当受到惊扰,白鱀豚快速逃逸时,出水呼吸急促有力,体背暴露很高。有时甚至可看到胸鳍露出水面,但仍不能见到尾鳍。但有时白鱀豚在鼻孔出水前就开始呼气了,这时清楚可见一连串的较大的气泡不断从喷水孔冒出上浮,甚至可听到在水中呼气所产生的“咕噜”声。吸气是在水面滑行的瞬间完成的。此时,身体几乎已经与水面平行,额隆、喷水

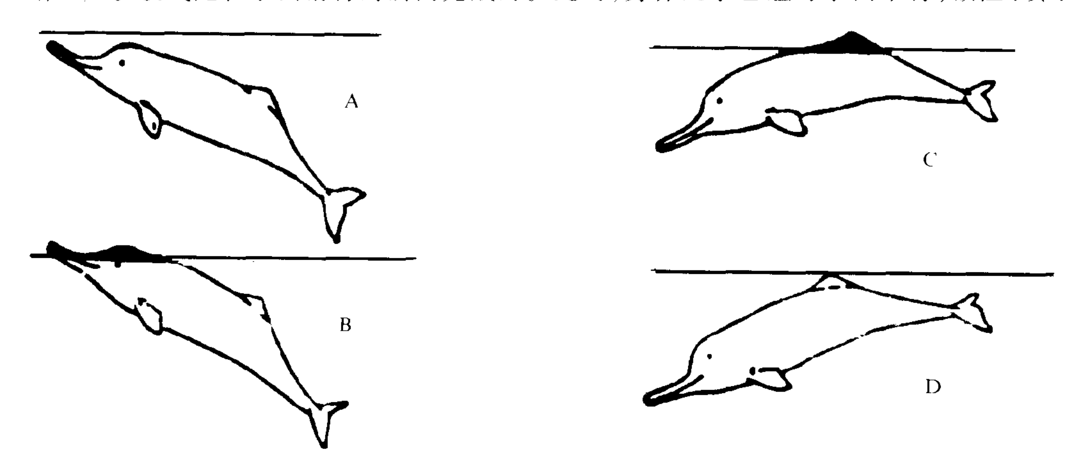


图 6-1 白鱀豚出水呼吸过程示意图(改自周开亚等,1980)

Fig. 6-1 Diagram of breathing patterns of *Lipotes vexillifer*

A. 准备出水;B. 额隆和喷水孔(即呼吸孔)露出水面,吻前端露出;C. 头部没入水中,背部及背鳍露出水面;D. 呼吸动作完成。

孔(即鼻孔)和背鳍都暴露在水面(林克杰等,1985)。

白鱀豚的呼吸间隔是不均匀的。短的仅数秒,长的可达数分钟。一般以 20—30s 左右为多。有时一长数短,即一次长间隔的呼吸后(如 40s 以上),接着的就是 3—4 次的短间隔呼吸(如 10s 以下)。据一昼夜的 360 次测定统计,呼吸间隔 5—10s 的占 16.6%,呼吸间隔为 11—20s 的占 37.7%,间隔 21—30s 的占 14.4%,31—40s 的占 6.3%,41s 以上的占 25%(图 6-2)。同时,白鱀豚的呼吸间隔亦即呼吸频率明显与其身体状况、健康水平、所处状态及生活条件等密切相关。如表 6-1 所示(林克杰等,1985)。

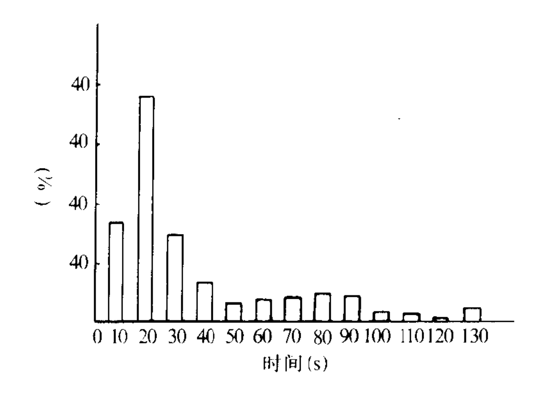


图 6-2 呼吸间隔百分率

Fig. 6-2 Percentage of breathing intervals

据我们 10 年来的统计观察表明,白鱀豚在正常情况下,呼吸频率为 109—152 次/h 之间,即平均呼吸间隔为 24—32s 之间。白鱀豚在运输途中或离水治疗时,由于身体处于不能自由运动状态,内脏器官受到压抑,且惊恐不安,因而代谢加速,呼吸变得短而快。

表 6-1 白鱀豚在不同条件下的呼吸率

Table 6-1 Respiration of *Lipotes vesillifer* on different conditions

	运输途中 During transportation	出水治疗 Medical treatment out of water	饲养后第五天 The fifth day after rearing	恢复健康后 After resuming normal health
测定日期 Date	1980.1.12	1980.1.24—25	1980.1.17	1980.8.7—24
连续测定次数 Times of measurement	100	90	230	720
最短呼吸间隔(s) The shortest breathing interval	4	4	5	5
最长呼吸间隔(s) The longest breathing interval	44	12	55	243
呼吸率(次/h) Breathing rate	245	360	167	124.5

表 6-2 三种淡水豚呼吸率的比较

Table 6-2 Comparison of respiration among three freshwater dolphins

呼吸率 Breathing rate	白鱀豚[1] *Lipotes vexillifer*	恒河豚[2] *Platanista gangetica*	亚河豚[3] *Inia geoffrensis*
次/h Times/h	109—143(a)	56—68(a)	51—67
	112—152(b)	58—96(b)	

1) (a)引自林克杰等(1985);(b)引自刘仁俊等(1987)。2) (a)引自 G. Pilleri(1970);(b)引自 A. Haque *et al*. (1977)。3)引自 Layne and Caldwell (1964)。

尤其在伤势严重，进行起水治疗时，其呼吸甚为急促。呼吸率高达 360 次/h，即平均每 10s 呼吸一次。而呼吸间隔最长的也只有 12s。

将正常游泳状态下的几种淡水豚作比较（表 6-2），可以看出白鳖豚呼吸频率比恒河豚、亚河豚要高得多。

二、行为节律

一切动物出于自身生理调节的需要，都在周而复始的活动节律中生活。在人工饲养动物的过程中，我们只有自觉地认识、掌握和强化它们的活动节律，才能保证动物的健康成长，并产生最大的社会和经济效益。白鳖豚终身生活于水中，对饲养条件和管理措施要求极高，难以饲养，以至死亡率较高。因此研究它的行为节律，并在饲养实践中自觉运用和掌握，对保证白鳖豚的健康成长具有十分重要的意义（刘仁俊等，1987）。

我们把人工饲养条件下白鳖豚的各种行为归纳成 10 种宏观行为，即顺时针方向游、逆时针方向游、侧游、仰泳、转游、直立、性行为、摄食、玩和休息。其具体含义分别如前面"行为型式"中所述。通过对"淇淇"10 种宏观行为的系统观察，发现人工饲养条件下白鳖豚的行为存在明显的节律性（刘仁俊等，1987）。

1. 食前节律

"淇淇"表现出明显的食前节律。如图 6-3 所示，它在早、中、晚喂食前 1h 左右，行为型式极为单调（"淇淇"的喂食时间一般为早晨 8:00，中午12:00，晚上 6:00），仅为逆时针或顺时针方向游泳，以逆时针方向为多。游速较快并从水下呼出一连串大气泡，呼吸短促有力，呼吸间隔增长。尾鳍有力地上下摆动，掀起阵阵大浪，无论从全年观察的行为变换次数的每小时平均值来看（图 6-3），还是从某一次观察记录来看（图 6-4），都能明显看出这种食前节律。只是一年中的各个不同季节喂食时间稍有前后变化使得有些食前节律发生的时间稍有前后，因此从全年平均值看不如单次明显。

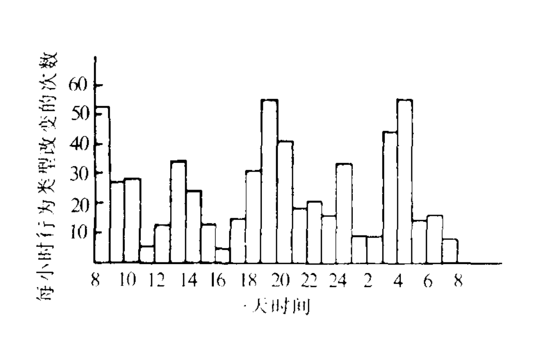


图 6-3 全年行为型式每小时平均变化的昼夜节律

Fig.6-3 Circadian rhythm of the average change of behavioural pattern within a year

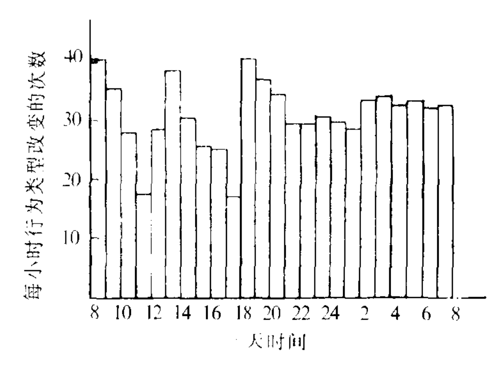


图 6-4 行为型式变化的昼夜节律（1985 年 12 月 13 日）

Fig.6-4 Circadian rhythm of the change of behavioural pattern (13 December, 1985)

2. 活动节律

从每次观察的行为型式变换的昼夜节律来看(图 6-3),“淇淇”一天的活动可分为几个时期。早晨 8 点喂食前行为单纯,有一个食前节律期。8 点喂食以后到 11 点,行为型式变换次数迅速增加,行为多样。11—12 点又重复食前节律。以后又出现一个活动高峰期,18 点前又为食前节律期。18—22 点又出现活动高潮。从 22 点到次日 6 点,行为变化多少相间,一般均有 2—4 个活动期,与此相应的有 2—4 个平静期。与白天不同的是夜间的平静期一般呈现较多的休息行为。即使在活动期,虽然行为型式变化较多,但在很多时候,行为动作并不剧烈。

另外,由于一年中随着季节的变化喂食时间有所前后,因此活动节律亦随之有所先后。从全年平均来看(图 6-4),由于平均而掩盖了每次活动节律的实际情况,但仍然可以看出活动节律的存在。

3. 顺时针和逆时针方向游的昼夜节律

从我们饲养过的 4 头白鳖豚来看,顺时针和逆时针方向游泳是它们主要的行为方式。而且刚从野生环境到人工环境时,一般在开始一个相当长的时间是以逆时针方向游为主。饲养一段时间后,“淇淇”顺、逆时针方向游呈现以下几个特点:

① 白天顺时针方向游所占的时间要比逆时针方向游少得多,夜间反之(表6-3,图 6-5)。一般一天中有 5 个高峰期,白天 2 个,一般在 8—10 点和 14 点前后。夜间有 3 个高峰期。从全年来看,存在 5 个高峰期是一致的,但出现的时间有所变动,持续时间亦有长短之别。

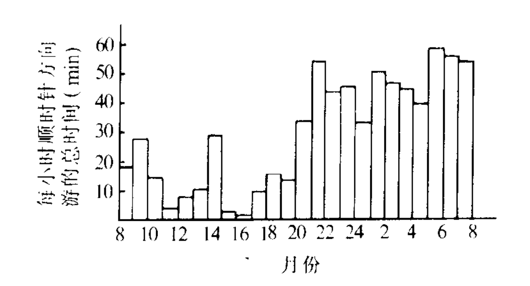


图 6-5　顺时针的昼夜时间分布(1985 年 12 月 13 日)

Fig.6-5　Circadian distribution of time of clockwise swimming (13 December, 1985)

表 6-3　全年顺时针方向游的昼夜时间(单位: 1 000 s)

Table 6-3　The circadian time of clockwise swimming of the whole year

月　份 Month	1985.4 Apr.	1985.5 May	1985.6 June	1985.7 July	1985.8 Aug.	1985.9 Sep.	1985.10 Oct.	1985.11 Nov.	1985.12 Dec.	1986.1 Jan.	1986.2 Feb.	1986.3 Mar.
白　天 Daytime	7.49	7.49	11.06	13.42	13.05	13.72	10.13	7.75	10.82	10.22	10.22	15.12
夜　晚 Night	25.53	17.62	18.27	12.25	21.16	9.85	26.10	13.06	26.40	9.55	28.38	16.10

注: 8:00—20:00 为白天,20:00—8:00 为夜晚。

② 顺时针方向游和逆时针方向游呈现交替现象,即顺时针游高峰期,则逆时针方向游为低峰期。

③ 在一天中,顺时针和逆时针方向游所占的总时间大体相等。

4. 性行为节律

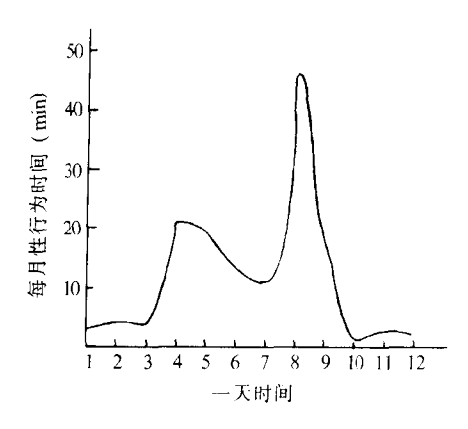


图 6-6 全年每月两昼夜性行为的时间分布

Fig.6-6 Time distribution of sexual behaviour during 2 days and nights per month within a year

全年都有性行为发生,但有2个明显的高峰期,即4—5月和8—9月。10月至次年3月及6—7月为不活动期。对在长江自然条件下生活的白鳖豚行为的观察也发现了类似的结果(图6-6)。

5. 休息节律

从全天来看,休息行为一般发生在夜间,而且总是发生在21点以后至次日7点之间,在此期间休息和活动相间发生。全年则相应天气的冷热变化在冬夏二季呈现2个高峰值,其中1月份最甚,多达6个多小时(图6-7)。

6. 嬉戏的行为节律

喂食以后,嬉戏的行为随之增加。而且夜间嬉戏的行为要比白天多,并呈现出2—3个高峰期。全年5—10月嬉戏的行为要比其他月份多得多。

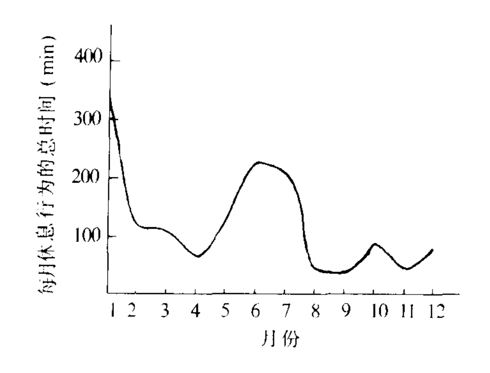


图 6-7 全年每月两昼夜休息行为的时间分布

Fig.6-7 Time distribution of resting behaviour during 2 days and nights per month within a year

7. 转游节律

在椭圆形饲养池中,转游行为比在圆形饲养池中要多得多,而且呈现出明显的昼夜节律。例如1984年10月9日,白鳖豚在摄食节律前后有明显的转游行为期,节律明显(图6-8)。但在圆形饲养池中,转游行为极少。持续时间很短,不呈现节律性。

从以上分析来看,"淇淇"的行为节律大致可分为两种类型:

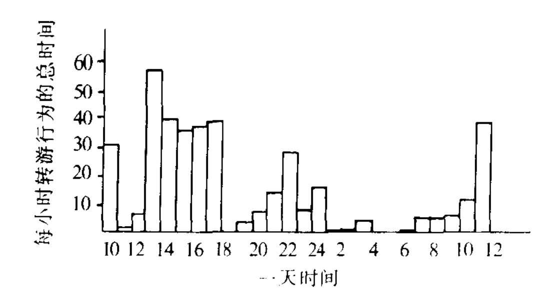


图 6-8 转游行为的昼夜节律(1984年10月9日)

Fig.6-8 Circadian rhythm of rolling swimming(9 October, 1984)

自然节律:即白鳖豚本身自然存在的行为节律。如一年的4—5、8—9月为性活动期。这是由其身体内部性激素变化控制的外部表现。在这一时期,实现人工饲养条件下的自然繁殖和人工繁殖最有可能。又如休息一般在夜间发生为多,可能和环境有关。与生活在长江中的白鳖豚因白天各种人类活动诸如繁忙的船舶来往等使白鳖豚无法休息,夜深人静能安于休息是一致的。至于冬季休息时间最长,可能是因冬季天气寒冷,寻食不便,为了积储能量,

减少消耗而增加休息时间。顺、逆时针方向游，白天和晚上之间的交替变化，很可能是对运动组织器官的一种调节。正确认识和掌握这些自然节律，为建立自然保护区的管理措施提供了依据。

非自然节律：即有些节律行为是随着条件的变化而改变的，或是人为造成的。例如，把白鱀豚养于椭圆形池中时，可以看到转游存在明显的昼夜节律，但移养于圆形池中后，这种节律随之消失。再到椭圆形池中时，这种节律又重复出现。其原因尚不清楚。

三、雌雄个体的感情协调行为

雌雄白鱀豚，特别是来自不同群体的白鱀豚能否在感情上取得协调并进行交配，这是白鱀豚在人工饲养条件下能否成功繁殖的关键，通过对雄豚"淇淇"和雌豚"珍珍"的饲养和互相"介绍"说明，来自不同群体的雌雄个体开始共同生活后有一个互相适应即感情协调的过程。而要达到交配的目的，除双方必须达性成熟且同步处于发情期外，感情协调也必须达到一定的程度(刘仁俊等，1990)。

1980年6月3日，我们将仅在人工饲养条件下生活了2个月而年龄仅2岁左右的雌豚"珍珍"移养入一个与养"淇淇"的圆形池(直径15m，深5m)相通的椭圆形池(20m×15m×4m)中，并将池水放满，使两池间的过道(1m×2m×1m)畅通。

开始"珍珍"由于对新环境的陌生和与雄性同伴"联联"("联联"是在长江中和"珍珍"生活在一起的包括3个个体的小群体中的成年雄性个体，两豚同时被捕获)的分离，显得非常焦燥，游动急速，呼气短促，进食时匆匆吃上几条鱼便停止摄食。与此同时，还从水听器中记录到一种具有找寻功能的称之为呼唤声(第三章已详述)的声信号。由于"淇淇"长期生活于饲养池中，对环境非常熟悉，所以一般不发声，故"珍珍"可能并没有感到"淇淇"的存在。但是，"淇淇"明显已经听到了"珍珍"的呼唤声。因此，不断从池口向椭圆池探望。此时，"淇淇"也发出了类似于"珍珍"的呼唤声的同样的声信号。而在此之前，我们从没有记录到"淇淇"发出这样的信号。"淇淇"这一呼唤声的产生说明两豚的声联系已开始建立，事实上，"珍珍"也开始感觉到了"淇淇"的存在，并从自己一侧的池口向"淇淇"的饲养池探望。为了进一步创造认识的机会和交流的条件，我们每天3次(8:30，12:30，18:30)同时在两池相通的通道两侧分别喂鱼，并逐步缩短两处投喂点之间的距离。6月7日晨，"淇淇"游到通道中两池的交接处，"珍珍"见后受惊乱窜。6月8日8:00时，"淇淇"又游到两池交接处，几乎进入"珍珍"的椭圆池。此时"珍珍"见后仍然极度不安，在远处急速转圈。6月12日开始，"珍珍"能到通道口来寻食了，而且明显地看到它们在通道的各自一方摇晃脑袋互相探视。此时可从置于通道中央的水听器中听到很多的作探测用的"的答声"声信号(第三章已详述)。特别是"珍珍"从开始每餐只能吃1kg左右鱼直到每餐能吃2kg左右。而且不再显得焦急不安，即使见到"淇淇"也不再逃开了。在以后的日子里，"珍珍"越来越活跃主动，经常到通道口去探视，"淇淇"亦然。有时两豚的吻端仅相距1m左右。直到8月8日深夜，"珍珍"从椭圆池自动游入"淇淇"的圆池(王丁等，1989；刘仁俊等，1990)。

"珍珍"进入"淇淇"的圆池后，两豚均显得较为紧张，各自在池子的一边活动。特别是"淇淇"由于长期独居的生活规律被打破，显得异常胆小，不能正常进食。相对而言，

"珍珍"显得胆子更大一些,进入圆池的当天早晨,一餐就吃了2kg多,而且率先进入"淇淇"的活动区(王丁等,1989b;刘仁俊等,1990)。

从8月10日开始,两豚已不再惊慌,各自过着自由自在的生活,但尚不能合在一起活动。8月15日下午,雷阵雨大发,使两豚异常惊慌,终于互相靠拢。此时"淇淇"在前,"珍珍"在后,互相紧紧相随游动。在以后的日子里,两豚在一起活动的时间逐渐增加,而且显得非常融洽。每次喂鱼,只要"珍珍"在喂食区,"淇淇"就在外侧等待。从不与"珍珍"争食,更没有出现争斗行为(王丁等,1989b;刘仁俊等,1990)。

当"淇淇"进入发情期(4—5月),出现一些前述的性行为时,"珍珍"便迅速游到"淇淇"身边,用自己的身体与"淇淇"相擦,直至"淇淇"平静下来后才离开。从行为上看,"珍珍"显得更为主动,从未发现"淇淇"追逐"珍珍"的行为。不过,"珍珍"此时性尚未成熟,这类触摸行为不应属于性行为的范畴,而纯属于一种抚爱关系。在这一阶段,两豚相随活动的时间大大增加(表6-4),占总活动时间的40%左右。表明雌雄两个体之间的感情协调已达到一定的程度(王丁等,1989b;刘仁俊等,1990)。

表6-4 白鱀豚雌雄个体行为活动

Table 6-4 The behavioral activity of male and female *Lipotes vexillifer*

日期 Date	合 Together		"珍珍""Zhen Zhen"				"淇淇""Qi Qi"			
			逆时针方向游 Counterclockwise swimming		顺时针方向游 Clockwise swimming		逆时针方向游 Counterclockwise swimming		顺时针方向游 Clockwise swimming	
	时间(h)	百分数(%)	时间	百分数	时间	百分数	时间	百分数	时间	百分数
1986.9.12	3.87	16.12	4.15	17.29	17.90	74.60	3.71	15.44	19.65	81.87
1986.12.19	3.06	12.77	7.87	32.77	10.48	43.76	6.78	28.25	15.60	64.97
1987.4.17	9.73	40.55	16.53	68.89	4.66	19.40	16.77	69.86	6.00	25.00
1987.6.30	4.42	18.41	11.15	46.46	6.96	29.00	8.99	37.45	8.93	37.21
1987.12.29	4.51	18.78	11.78	49.07	6.94	28.93	10.54	43.92	4.00	16.68

四、训练及学习能力

由于鲸类具有十分发达的大脑和相应复杂的行为,因而一般认为鲸是一类十分聪明的高等哺乳动物。而且事实上根据国外的一些研究表明,某些鲸类的确可以接受相当复杂的训练以完成声呐系统的研究和为人类从事某些特殊工作(Busnel and Fish, 1980)。通过对白鱀豚的训练和观察,可以对白鱀豚的训练可行性及其学习能力作出初步的判断(王丁等,1990;王克雄等,1994)。

1. 白鱀豚的训练

在白鱀豚的训练中,我们采用的主要有两种方法,即偶然行为强化法和渐次逼近法。

偶然行为强化法:当白鱀豚的某一偶然行为与训练员的意欲行为相一致时,训练员即发出Bridge信号(一种强化信号,表明白鱀豚动作完成正确,下文将详述)以示奖励,并同时向动物出示提示信号和投喂食物以使这一动作得以加强,并建立这一动作与提示信

号的对应关系,这种训练方法迅速,效果明显。但仅对动物自然行为业已存在的行为有效,无法利用这种方法去创造一种新的反应行为。

渐次逼近法:当训练一全新的复杂的动作时,将这一动作分解成许多互有联系、渐次逼近最终动作的许多小节,每一小节简单明了,各小节串联起来后即完成了最终动作的训练。这一训练过程又叫"完型"(shaping)(Pepper and Defran,1975)。

白鳖豚的训练与海豚有所区别。白鳖豚的视力与一些海豚如宽吻海豚相比要差得多(吴奇久等,1982;周开亚等,1980)。很难像海豚那样使用手势进行训练。只能使用像触摸、声刺激等方法作为加强物进行训练。故相对于海豚而言,白鳖豚的训练在技术上更难一些。

为了完成白鳖豚的声学和其他方面的实验,我们首先完成了白鳖豚的基本动作的分解训练。然后又在此基础上分别进行了目标识别实验、听阈曲线测定实验的训练和采精训练工作。这些工作均是在"淇淇"身上完成的(王丁等,1988,1989a;王丁和景荣才,1990;王克雄等,1994;肖友芙等,1993;Wang *et al.*, 1992)。

(1) 基本动作的分解训练

手喂鱼(hand-feeding):这种喂食方式能够加深训练员和白鳖豚之间的感情交流,并且加快进食速度,保证训练的连续性(Pepper and Defran,1975)。实现的方法是逐步引导。开始,用手持鱼击水,引诱白鳖豚接近,然后逐步将鱼提出水面,促使白鳖豚将吻伸出水面,并且张开嘴,训练员就将鱼投入其嘴里。经过20天,每天约5—8次的训练,"淇淇"在鱼一击水后,即能够将整个吻伸出水面,等待训练员喂食。

Bridge信号:Bridge信号是一纯音信号,要求白鳖豚一听到该信号即回至训练员面前将头伸出水面待食。Bridge信号与食物的密切关系使得它成了训练员与白鳖豚之间联系的桥梁。借此能将人的意图传给白鳖豚。假若白鳖豚作出了一个所需要的动作,训练员马上发出Bridge信号并待白鳖豚回到训练员面前后立即喂食以资鼓励。这样,可以对白鳖豚作出的正确动作迅速而直接地予以加强,不受时间及白鳖豚所处位置的限制。白鳖豚出于求食的本能,就会不断重复这一动作,直至最终掌握。对于4—7kHz的纯音信号,"淇淇"以自身的哨叫声100%的应答率应答(荆显英等,1981)。这一点也许与发射纯音信号的频率与"淇淇"自身哨叫声的主频率(据当时记录为6kHz左右)相近有关。根据仪器情况我们选用10kHz的纯音信号作为Bridge信号,通过水下声发射换能器发射,脉冲宽度、强度可调。实验表明,在一定脉宽及强度下,不管白鳖豚位于实验池的任何位置,均能迅速、准确、可靠地感觉到这一信号的发射。从而确定10kHz的纯音信号作为Bridge信号使用的稳妥性及可靠性。训练方法是在每次喂食前给一个Bridge信号,反复多次后,白鳖豚就建立了这种条件反射,即一旦听到Bridge信号,无论位于何处,会迅速回到训练员面前待食。这种反射建立后,Bridge信号本身就是一种加强,意味着奖励。通过14天、每天26次的训练,白鳖豚已完全达到上述要求。

定位(station):要求白鳖豚在每次训练开始之前到训练员面前待命。以准备接受训练员发出的作下一个动作的命令信号。白鳖豚吻应轻压在定位标上,身体平直对准训练员。这一动作表明豚已进入训练状态。训练方法是在喂食前,将定位标(色彩鲜艳,易于辨认)插入训练员面前的水中,位置一定。开始时,白鳖豚不敢接近。当它逐步熟悉后,并敢在定位标附近停留时,就发出Bridge信号并投食给予奖励。然后用鱼在水中引诱豚逐

步接近定位标。当白鳖豚敢用吻顶住定位标时，再逐步延长停留的时间。通过7天、每天25次的训练，"淇淇"能够按照训练员要求的时间和位置、体位作定位动作。

碰标(touching pinger)：作为一种响应方式，使白鳖豚能将实验中要求其判断的结果用碰不同标的方式告诉训练者。响应标的形式因实验而异，可以是浮在水面上的空心塑料球，也可以是置于水中的其他物体。要求白鳖豚用吻端可靠地触压响应标。训练方法类似于定位的训练，即逐步逼近(successive approximation)。开始只要其吻指向响应标，即发出Bridge信号并喂食。然后同样用鱼进行引导。通过8天、每天28次的训练，"淇淇"从开始回避到逐渐接近，最后能主动用吻去顶响应标，甚至将响应标拱出水面。

探测(detection)：白鳖豚执行训练员的命令信号，对某个特定位置的目标有无，或者目标材料的异同等进行探测。要求白鳖豚相距目标距离一定，且发射探测信号。我们利用了白鳖豚对击水声很敏感这一习性，在紧挨需要其探测的目标处发出一个击水声，实际上等于一个命令信号。接到这个命令信号后，"淇淇"就会转身游近这个位置对准声响处进行探测，并发射声脉冲。距离目标的远近可以由发出Bridge信号的时间早晚来控制。通过这种方法，进行4天、每天约43次的训练，"淇淇"就能很好地完成探测，即命令信号－转身－发射声脉冲这一动作。此时，并没有要求白鳖豚对目标的有无或材料的异同得出正确的判断结果，而是只要其形式上完成这一动作系列即给予奖励。白鳖豚是否能准确地探知目标的有无或材料的异同尚有待于以后实验予以确认。

这些基本动作的训练完成以后，我们又相隔近半年的时间对这些动作进行了温习训练，以便巩固和提高。基本动作的分解训练和温习训练总的情况如下表所示(表6-5)。

表6-5 白鳖豚的基本动作训练

Table 6-5 Basic action training of *Lipotes vexillifer*

动作名称 Name	训练天数 Training period (days)	天平均次数 Average times per day	训练顺序 Order	结果 Result	温习 Review
手喂鱼 Hand-feeding	20	58	1	整个吻出水面，张开嘴待食，训练员可以触摸其身体	一恢复训练即恢复原水平
信号 Bridge	14	26	2	不管豚位于何处，一发出该信号即回至训练平台前吻出水待食	同上
定位 Station	8	25	3	吻顶住定位标，按训练员要求时间长短定位待命	一天后即恢复原水平
碰标 Touching pinger	8	28	4	吻端可靠地碰标，将标顶出水面	同上
探测 Detection	4	27	5	一接到探测命令信号即转身游到距待探测目标5m以外探测，并发射声脉冲	同上

(2)目标识别实验的初步训练　在基本训练的基础上，作了目标材料实验的初步训练。训练是在一个25m×20m×2.5m的椭圆形混凝土池子中进行的。训练装置如图6-9所示。

目标材料识别实验就是要求白鳖豚用声呐系统去判别形状相同但材料不同的目标之

间的差异，并通过某种响应方式将其判别结果告诉人。用这种方法来判断白暨豚目标识别的能力。实验的大致程序是：定位标一插入水中，白暨豚即在定位标前定位待命。然后在背后约 15m 处随机选取两个待识别的目标中的一个（两目标均为圆柱形，大小均为 4cm×18cm，但材料不同，分别是钢和铝做成）放入水中，并发出击水声命令"淇淇"转身探测。探测后即回至训练平台前用碰不同响应标的形式告诉训练员其判别的结果（钢标时碰 A 响应标，铝标时碰 B 响应标）。若其判断正确，训练员发出 Bridge 信号并喂食以资鼓励。"淇淇"吃完鱼，再回到定位标前进入待命状态，等待命令准备重复上述动作。这个动作序列实际上就是前述的基本动作按照一定的顺序的串联，训练过程就是这些基本动作的串联过程。"淇淇"经过 5 天训练就能很好地完成这一动作序列。

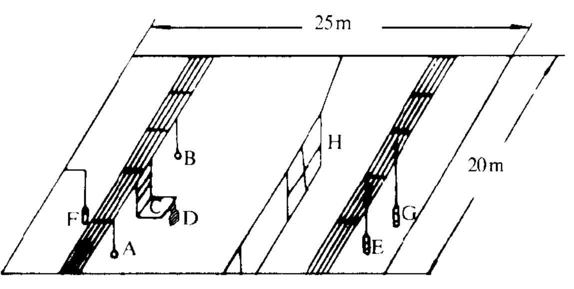


图 6-9 训练池中实验装置

Fig.6-9 Experimental set-up in the training tank

A、B. 为两个响应标；C. 为训练平台，离水面约 10cm；D. 为定位标；E. 为待探测的目标；F. 为 Bridge 信号发射换能器；G. 为监测白暨豚是否发声的信号记录水听器；H. 为栅栏，以保证白暨豚探测时距离目标 E 最少不得小于 5m。

白暨豚经过探测后，即使能发现目标的差异，也不可能自动把探测结果与不同的响应对应起来，这一点需要训练。训练的方法就是引导。A 标、B 标分别放置在训练员的左、右两侧，训练员振动 A 标以引诱白暨豚碰 A 标，振动 B 标以引诱白暨豚碰 B 标。随着白暨豚对这种对应关系的逐步建立，逐渐减小振动的幅度，推迟振动引导开始的时间，直至消除引导。这时要求白暨豚建立钢目标碰 A，铝目标碰 B 标的对应关系，作出正确的响应。这一训练最后因故未能全部完成。

(3) 听阈曲线测定实验的训练　　实验池装置如图 6-10 所示。

实验过程如下：训练员持鱼桶走上训练平台，放下接收水听器 C（即定位标），要求白暨豚即将吻对准并几乎贴近水听器水下定位。位于仪器平台的另一实验人员在白暨豚定位且体位正确后等待或长或短的时间给出刺激信号（不同频率不同脉宽的纯音或调频信号）至水听器 B，要求白暨豚若听到信号，吻即出水面并张口待食，训练员给出 Bridge 信号（此时为一超声哨信号），并投鱼于其口中以资鼓励。若没有听到信号，要求白暨豚即保持原位不动，等待下一轮信号。训练员根据白暨豚是否抬头吃鱼判断其是否听到了信号，从而决定听阀阀值。

这一实验过程中要求的训练的关键是建立刺激信号（待测的不同频率不同脉宽的纯音或调频信号）－反应（抬头吃鱼）这一条件反射。在训练中，我们采用了刺激转化技术（fading in or out）。将在基本训练中原已建立的 Bridge 信号－抬头吃鱼这一反射中的 10kHz Bridge 信号转换成我们需要测定的不同频率不同脉宽的刺激信号，在原已牢固建立的 Bridge 信号－抬头吃鱼这一条件反射的基础上建立刺激信号－抬头吃鱼这一条件反射。而 Bridge 信号改由一超声口哨发出。为使白暨豚有一个适应过程，训练起始的刺激信号仍选用 10kHz 的纯音信号，且强度较大，然后往相近的频率过渡，分别向高频端和低频端扩展。令人惊讶的是，"淇淇"在中断训练数年以后重新开始训练仅 5 天，就很好地完成了实验的要求。即吻对准定位标定位待命－听到刺激信号后抬头张口待食。刺激

信号的转化过程也很顺利。即牢固地建立了刺激信号-抬头吃鱼这一条件反射。似乎白鱀豚并不很在意刺激信号频率的高低，而主要关心是否有信号发出。但仍应注意在信号频率的变化过程中，幅度不宜过大。否则，白鱀豚将不知所措。

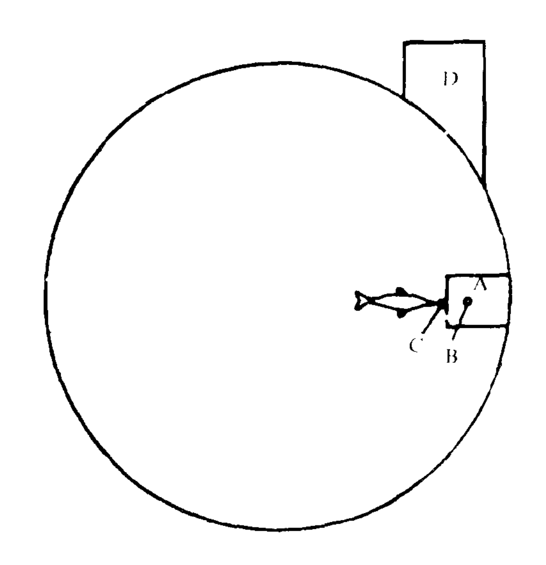


图 6-10 实验池装置(白鱀豚处于定位位置)
Fig.6-10 Training tank set-up
(the animal is in station position)
A.为训练平台;B.为发射水听器;C.为接收水听器兼起定位标的作用;B、C.相距 50 或 100cm (视实验要求而定);D.为仪器平台。

(4) 采精训练 开展白鱀豚这样的水生哺乳动物的人工采精研究可以有多种途径，通过训练促其自然排精是一种比较自然的技术方法，对动物的伤害较小。

就白鱀豚而言，接受人工采精操作是一种全新的行为反应。为了建立这一行为反应，我们设计了一套新的训练程序。主要包括三个阶段，即正确的体位、阴茎伸出和勃起、采精操作。

1) 正确的体位：和以前的其他训练最不同的是采精训练需要训练员接触白鱀豚的身体。而白鱀豚与一些海豚相比较，是一种比较胆小的动物，不愿接近人，也不愿人接近它。所以，训练第一步是让白鱀豚克服对训练员的恐惧心理，靠近训练员并能接受抚摸。办法是训练员站在水中一固定位置给白鱀豚投喂食物，投喂点由远而近，每次缩短的距离由白鱀豚的反应而定，直至白鱀豚从训练员手中取食并作短暂停留。这里主要需要考虑的是一个因饥饿而导致的摄食驱动和因恐惧而导致的逃避驱动之间相互抑制的问题，训练必须循序渐进，以保证每次训练时摄食欲望高于逃避欲望。对于已接受过其他训练而有一定训练基础的白鱀豚来说，这一动作可能完成较快。接下来先诱导白鱀豚在水中仰躺以便接受性刺激和采精操作。这一点可以双管齐下，一方面通过 Bridge 信号和食物强化白鱀豚在训练区的仰游行为，另一方面通过训练对白鱀豚左右胸鳍的操作，促使白鱀豚侧身和仰躺。

正确的体位的最终要求就是要求白鱀豚安静地仰躺在训练员面前，并接受训练员对其腹部特别是生殖裂区的抚摸，停留时间不短于 25—30s。对“淇淇”而言，本阶段训练共进行了 5 个月，累计训练时间近 150h，它已能很好地按照训练员的要求完成仰躺动作。

2) 阴茎的伸出和勃起：要白鱀豚根据人的要求主动伸出阴茎是很困难的。为此，初期的训练选在白鱀豚的性活动期进行。在动物自己因性行为张开生殖裂并暴露阴茎头时给予强化。待白鱀豚伸出阴茎达一定长度后，强化它接受训练员对其阴茎的抚摸和操作。因为白鱀豚的性行为一般出现在摄食后，故训练在每天上、下午进行，共 2 节，每节时间为 20—30min。为保持一定的摄食欲望和维持一天的总进食量不变，减少了正常喂食时间的喂食量。一段时间后，能较容易地使白鱀豚不停地伸出阴茎以接受食物奖赏。为促其阴茎勃起，可增加性刺激强度，包括对生殖裂区和对阴茎的抚摸，甚至可考虑采用电动按摩器。

3）采精操作：待白鳘豚阴茎勃起有射精征兆时，可考虑采用假阴道或其他辅助工具和技术，继续增强刺激，促其排精并用适当的洁净的容器收集精液。

（5）训练中应予注意的几个问题

1）训练的适应和 Bridge 信号的作用：从前述的基本动作的训练情况可以看出（表 6-5），不管动作的难易程度如何，各个基本动作的训练所花费的天数和总次数基本上是逐渐减少的。这表明了训练的适应过程和 Bridge 信号作为奖励手段所起到的作用。一般认为，由于手喂鱼、Bridge 信号两个动作直接跟食物——鱼相联系，利用了白鳘豚的摄食本能，应该是比较简单和容易训练的，而定位和碰标等无法与白鳘豚的任何自然行为直接对应，训练应该相对较难。可事实上恰好相反。定位和碰标的总天数都只有手喂鱼的 2/5，Bridge 信号的 1/2。这有两个原因：其一，动物从未驯化状态转入训练状态有一个适应过程。作为从未接受过正式训练的“淇淇”，开始很难与训练员相配合接受训练。其二，动物训练需要一个很好的加强手段能予动物及时的奖励。白鳘豚作为水生动物就限定了人很难与它时时保持接触。这样，对“淇淇”的正确反应就无法进行及时的直接的加强，只有用喂鱼的办法来给予奖励。虽然鱼对白鳘豚的吸引力很大，但往往由奖励不及时而使其作用减弱甚至可能造成混乱。当 Bridge 信号训练成功后，一旦“淇淇”作出正确反应，就马上可以发 Bridge 以作强化，而不管它位于何处。这样，Bridge 作为意味着食物的加强物就大大加快了训练的进程。因此，训练必须循序渐进，而 Bridge 信号的训练成功是整个训练成功的基础和关键。

2）奖励和惩罚的正确使用：奖励是训练的基本手段。而惩罚是奖励的必要补充。适当运用奖励和惩罚会使训练收到事半功倍的效果。比如训练碰标时，开始一段时间进展不大。后来一次偶然的机会，白鳘豚吻碰了一下响应标，训练员抓紧时间立刻发出 Bridge 信号，并同时投给它两条鱼以增大加强的作用。这时“淇淇”一下子就明白了训练员的要求，并接二连三地碰起标来。又如有几次发现白鳘豚探测时不发射声脉冲，训练员即采用惩罚的方法，即一套动作完成后不发 Bridge 信号和不喂食，但效果不大。反而见白鳘豚加大了探测距离，改变了一些不需要改变的动作。这主要是惩罚的时机不准，意义不明。一套动作包括定位、探测（含发声）、碰标等，动作完成后不给予奖励，白鳘豚就不知道错在哪一步，只好随机改变某一动作，造成混乱。后来改用 Bridge 信号直接加强，即当它偶一发声就立即发出 Bridge 信号给予奖励，而不是等整套动作完成后再给予奖励，这时白鳘豚立刻明白发声是训练员所要求的，后来每次探测发出的脉冲个数都比较多。有时白鳘豚显得不愿接受训练，动作质量不高，甚至拒绝合作。这时，训练员可考虑采用暂停训练（time out）的惩罚措施。5—10min 后重新开始训练时，大多数情况下白鳘豚接受训练的态度要认真得多，也更加卖力了。

3）环境因素和白鳘豚自身情绪对训练的影响：从各个不同实验的训练情况来看，环境安静，白鳘豚的精神状态好，训练效果就比较好，反之就差，甚至不能训练。

如果正在刮风下雨时训练，由于水、雨所造成的噪声干扰对白鳘豚感觉系统的影响，白鳘豚不能集中注意力，命令信号的接收等亦受到干扰，动作经常出错。池子周围的脚步声、参观的人群、建筑施工所造成的噪声均会影响训练。甚至过分强烈的干扰会使白鳘豚就像突然丧失了记忆力一样，完全忘记了已学会的动作。不过一般说来，只要干扰源不紧靠训练池，且强度不过大，并且在训练开始 1h 以前恢复平静，训练一般能正常进行。

水质的好坏对训练也至关重要。水质变坏时，藻类生长很快。白鳖豚皮肤上的霉菌繁殖也很快。感觉不舒服，老爱在池壁上蹭痒，训练时显得疲倦，动作完成不够理想。

发情期时，白鳖豚或十分兴奋、激动，难以安定；或疲倦不堪，游动乏力。难以进入正常的训练状态。不过，白鳖豚的性活动有利于采精训练。

4）对训练员的要求：一般说来，白鳖豚对训练员没有选择。当更换训练员时，白鳖豚并没有什么明显不同的表现。它最关心的是鱼，而不是喂鱼的人。这可能是视力较差的原因，与视力较好的海豚有所区别。但是，不同的训练员训练时掌握的标准应尽量一致，以保证训练的统一性并避免出现混乱。同时，训练时要尽量保证训练员给出的每一个信号（包括奖励和惩罚）都只有一个特定的含义。只有含义唯一，才能得到一个特定的所需要的反应。否则，白鳖豚就会无所适从。另外，要保证训练的连续性，不能随意中断训练。连续动作的分解必须合理，既不宜分得过细，也不宜分得过粗。应保证训练新的动作同时温习旧的动作，以不断巩固。

白鳖豚在饥饿时较易接受训练。一次训练以20—30尾鱼为宜（且应视不同动作的难度要求适当增减）。一次训练的次数太多，训练后期白鳖豚感觉疲倦，效果不佳，甚至拒绝训练。一次训练的次数如太少，则训练效果不易巩固。

2. 白鳖豚学习能力的初步探讨

学习是潜在的新行为模式在机体和外部条件相互作用中的形成过程（赫葆源等，1983）。而动物的训练正是这么一个新行为模式的形成过程，也就是说，训练过程就是学习过程。

就白鳖豚而言，如前面所述，我们进行了一系列的简单动作的训练。分析、总结这些训练过程即学习过程中的某些现象和一般规律，可以对白鳖豚的学习能力作出初步的评价（王丁和景荣才，1990；王克雄等，1994）。

（1）学习的迁移作用　在前面关于基本动作训练的论述中曾提及不管动作的难易，训练所花费的总天数亦即总节数从前往后基本上是逐渐减小的。将表6-5稍作处理后，可算出后续动作训练节数相对于第一个训练动作手喂鱼的训练节数的节省百分比（表6-6）（节省百分比＝第一动作训练节数－后续动作训练节数/第一个动作训练节数×100％）。

表6-6　基本动作训练节省百分比

Table 6-6　Percentage of time(section) saving of basic action training

动作名称 Action name	训练序号 Training order	训练节数（3节/天） Training sections (3/day)	节省百分比 % of section saving	半年后动作恢复原有水平所需训练节数 Reviewing sections half year later
手喂鱼 Hand-feeding	1	60		0
Bridge信号 Bridge signal	2	42	30％	0
定　位 Station	3	24	60％	3
碰　标 Touching pinger	4	24	60％	3
探　测 Detection	5	12	80％	3

从上表可以看出，训练节省的百分比随训练的深入是递增的，也就是说后续动作相对于第一个动作而言所花费的训练节数(天数)越来越少。前文认为这是一个训练的适应过程。实际上，从另一方面而言，也可以说是学习的迁移现象。也就是先前的学习获得的经验影响了后来的学习。一般而言，这种影响的效果有两种：或对后来的学习起促进作用或起阻碍作用。前者为正迁移，后者为负迁移。就“淇淇”的这次基本动作的训练而言，迁移的影响是正的。其实，这些基本动作彼此间并没有什么关联，这种正的迁移作用也许是反映了白鳖豚的学习准备状态的变化。即是一种非特殊迁移现象。也就是说，转入训练状态后，白鳖豚已开始学会如何适应训练的要求了。学习速度也随之比未驯化状态时开始训练的转变时期加快了。也就是前面所述的表现了对训练的适应过程。动物学习中的这种迁移现象对于学习的帮助有时是很大的。

(2) 学习的速率　我们可以采用S(刺激)-R(反应)对偶联系中的达到某一定值的正确反应率与所需训练节数之间的比例关系来衡量学习的速率。也就是说以训练节数作横坐标，反应率作纵坐标，画出两者的学习曲线后，其回归曲线的斜率可以作为这一动作的学习速率的某种量度。图6-11是“淇淇”学习碰手即训练员手插入水中(S)-豚吻触碰训练员手掌(R)的学习曲线。

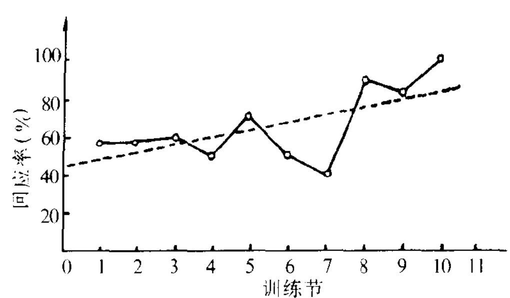


图6-11　1989年“淇淇”碰手学习曲线

Fig. 6-11　The learning curve for hand-touching in 1989

图6-11的回归方程为：

$$Y = 0.439 + 0.0398X \ (n = 10, \ r = 0.623 > r = 0.10)$$

式中0.439即为在Y轴上的截距，即训练开始时的正确反应率，可以认为表现了开始训练时能够正确反应的起点水平。一般而言，此值应为零。这里的曲线代表的是在头一年训练同一动作的基础上第二年恢复训练的情况，所以说截距即起点水平并不为零，这个非零正值表现了头一年的训练对第二年的训练的影响，代表了记忆的作用。而0.0398即是该曲线的斜率，表现了随着训练节数的增加，正确的反应率增加的速度，也就是代表了学习的速率。当在不同动物不同个体之间的相同条件下进行同一动作的训练时，该斜率就可以表示出不同的动物或不同个体之间对于该动作的学习能力的差异。而同一个体不同动作的学习的斜率的差异可以显示动物对不同动作的学习能力的好坏。所以说学习曲线的斜率是评价动物学习能力的一个非常重要的标准。

(3) 记忆对学习的影响　记忆能力是评价一种动物学习能力的一个重要指标。我们可以用节省的百分数这一量值来衡量记忆作用的大小，也就是记忆能力的好坏。对于某一特定动作而言，这一量值是这样定义的(赫葆源等，1983)：

节省的百分数(S) = 100 × (初学所用遍数 − 再学所用遍数)/ 初学所用遍数

此值越大，说明记忆的效果越好。如不用再学就能回忆出来，则节省的百分数等于100。就“淇淇”基本动作的学习而言，从表6-6可以算出，同一动作半年后的再学习节省的百分数分别如下表(表6-7)所示(以训练节数计算)。表6-8列出了1988—1990年“淇淇”学习水中手喂鱼和碰手动作的完成情况，表中的正确反应率是根据最后一节训练的结果计算的。

表 6-7　同一基本动作复习训练节省百分数

Table 6-7　Percentage of section saving of the same basic action training

动作名称 Name of actions	初学所用训练节数 Training sections	复习(再学)所用训练节数 Reviewing sections	节省百分数 % of section saving
手喂鱼 Hand-feeding	60	0	100
Bridge 信号 Bridge signal	42	0	100
定　位 Station	24	3	88
碰　标 Touching pinger	24	3	88
探　测 Detection	12	3	75

表 6-8　水中手喂鱼和碰手训练情况

Table 6-8　Underwater hand-feeding and touching hand training

训练日期 Training dates	动作名称 Action name	训练节数/次数 Sections/times	累计时间(min) Mins.	正确反应率 Response rate
1988 年 4 月 20—25 日	水中手喂鱼 Underwater hand-feeding	10/119	325	100
4 月 28 至 5 月 15 日	碰　手 Touching hand	28/90	535	100
1989 年 6 月 12 日	水中手喂鱼 Underwater hand feeding	2/5	44	100
6 月 13—15 日	碰　手 Touching hand	10/36	181	100
1990 年 6 月 1 日	水中手喂鱼 Underwater hand-feeding	2/3	35	100
6 月 1 日	碰　手 Touching hand	1/9	20	100

从表 6-8 中可以看出，前一年的学习对后一年的学习明显具有正的影响。节省的百分数分别为(以训练次数计算)：

手喂鱼：　$S_{2-1}=\frac{119-5}{119}\times100\%=96\%$　　(1989 年相对于 1988 年)

$S_{3-2}=\frac{5-3}{5}\times100\%=40\%$　　(1990 年相对于 1989 年)

碰　手：　$S'_{2-1}=\frac{90-36}{90}\times100\%=60\%$　　(1989 年相对于 1988 年)

$S'_{3-2}=\frac{36-9}{36}\times100\%=75\%$　　(1990 年相对于 1989 年)

从这两个实验中可以看出，白鳖豚的记忆能力是相当好的，记忆在学习中扮演了相当重要的角色。

另外，手喂鱼中第三年对第一年节省的百分数为：

$$S_{3-1}=\frac{119-3}{119}\times100\%=97\%$$

碰手中第三年对第一年节省的百分数为：

$$S'_{3-1} = \frac{90-9}{90} \times 100\% = 90\%$$

很显然,$S_{3-1} > S_{3-2}$, $S'_{3-1} > S'_{3-2}$,这个事实说明经过第二年的复习后,第三年的学习速度更加快了。也就是说复习能有效地改善动物的记忆水平。

(4) 理解能力的初步探讨　　在学习过程中,理解在加强 S(刺激) - R(响应)的联系中是非常重要的。理解有助于联系的形成(赫葆源等,1983),在白鳖豚的训练中同样可以看到理解的作用。

在训练"淇淇"伸出阴茎时,采用的是4阶段分级训练。每级训练都是简单的刺激 - 反应。即:①手伸入水中 - 吻端触手;②压右侧鳍肢 - 侧身;③摸左鳍肢 - 仰身;④抚摸腹部 - 阴茎伸出。在这4个阶段的训练逐个完成后,本来是要求它将这4个动作按1—4的顺序串联起来,在完成最后的反应——将阴茎伸出后才能得到奖赏。经过一段时间的适应,"淇淇"自己省去了所有中间过程,即一当训练员手插入水中,它便游近训练员在训练员面前仰躺并将阴茎伸出体外。此行为已从简单的刺激 - 反应上升整体行为。具有较强的目的性。说明白鳖豚已完全了解了训练员要求的最终目的是什么。只要完成了最终动作它便能得到奖赏,而中间的过渡阶段是无关紧要的。所以,只要最初刺激一出现,它就自己主动呈现最终动作以获得食物。这说明白鳖豚有一定的理解能力。

(5) 学习能力的初步评价　　通过训练动物,并在训练中观察、记录动物的行为表现,用以分析、研究动物的学习能力,这种方法在研究鲸类动物的学习能力领域使用较为普遍(Karandeyeva, 1969)。因为鲸类动物有多种多样的行为型式,它们的运动反应能力、模仿能力和对声音的响应能力都较强,这些特征决定了通过分析行为来研究学习能力较为合适。另一方面,这类动物生活在水中,与陆生动物的生活环境有较大差异,这也在一定程度上限制了某些神经生理学技术的使用。

白鳖豚数量较少,捕捉、饲养均很困难。目前情况下使用传统的动作学习方法,研究其学习能力也是一种较为合适和可行的办法。目前在这方面仅开展了初步的工作。不过,就现有结果看来,白鳖豚具有良好的记忆能力和一定的理解能力,经验的获得也有一定的正迁移作用,在 S - R 对偶联系中 R 的正确反应率总是随着刺激的重复而不断提高。从训练中白鳖豚表现的行为来观察,它总是企图了解训练员的意图,满足训练员的要求,以期望获得食物奖励,这些都说明白鳖豚是可以训练的,而且具有一定的学习能力。但是,评价一种动物的学习能力,仅从其动作学习能力这一项指标来讨论未免轻率。还应包括操作工具能力、概念学习能力、概念记忆能力等。这方面还有待于进一步深入研究。

参　考　文　献

王丁、王克雄、刘仁俊、谌刚、卢文祥,1988,白鳖豚听觉灵敏度的研究,华中理工大学学报,16(3):55—60。

王丁、王克雄、刘仁俊、陈佩薰、谌刚、王治藩、卢文祥、杨叔子,1989a,白鳖豚声行为及听觉灵敏度的初步研究,湘潭大学自然科学学报,11(2):116—121。

王丁、刘仁俊、陈佩薰、王治藩、卢文祥、杨叔子,1989b,白鳖豚的发声及与环境适应的初步研究,水生生物学报,13(3):210—217。

王丁、景荣才,1990,白鳖豚的声训练,水生生物学报,14(2):138—144。

王克雄、王丁、刘仁俊,1994,白鳖豚动作学习能力的初步研究,水生生物学报,19(1):21—30。

刘仁俊、王丁、龚伟民、王小强、陈道权、王克雄,1987,人工饲养条件下白鳖豚的行为节律,水生生物学报,11(4):337—343。

刘仁俊、王克雄、龚伟民、王丁,1990,豢养条件下白鱀豚雌雄个体的感情协调及行为分析,水生生物学报,14(4):304—309。

华元渝、赵庆中、张国成,1987,长江白鱀豚的行为特征,自然杂志,10(10):765。

华元渝、张国成、赵庆中、陈佩薰,1986,白鱀豚栖息活动区及其群体活动的初步研究,环境科学与技术,(35):2—5。

陈佩薰、刘沛霖、刘仁俊、林克杰、G·皮莱里,1980,长江中游(武汉—岳阳江段)豚类的分布,生态行为和保护,海洋与湖沼,11(1):73—84。

陈佩薰、林克杰、华元渝,1985,白鱀豚生物学特征的初步研究,水生生物学报,9(2):176—185。

陈佩薰、刘沛霖、刘仁俊、林克杰,1986,白鱀豚饲养的研究,水生生物学报,10(2):128—135。

李俊凤、吴奇久、肖悦梅,1984,白鱀豚视觉通道的组织学研究——视网膜,中国科学(B辑),(2):132—135。

吴奇久、李俊凤、肖悦梅,1982,白鱀豚视觉通道的组织学研究——视神经结构、纤维计数和纤维直径谱,中国科学(B辑),(11):1001—1005。

肖友芙、王丁、王克雄,1993,白鱀豚(*Lipotes vexillifer*)听阈值的进一步研究,海洋学报,15(1):125—128。

周开亚、G·Pilleri、李悦民,1980,长江下游南京至太阳洲江段白鱀豚和江豚的观察,兼论白鱀豚对环境的某些生理适应,中国科学,(4):363—369。

林克杰、刘沛霖、陈佩薰,1985,人工饲养条件下白鱀豚行为的观察,水生生物学报,9(1):51—58。

荆显英、肖友芙、景荣才,1981,白鱀豚(*Lipotes vexillifer*)的声信号及声行为,中国科学,(2):233—239。

赫葆源、张厚粲、陈舒永等编,1983,实验心理学,北京大学出版社。

Busnel, R.G. and Fish, J. F. (eds.)., 1980, Animal Sonar System, Plenum Press, New York.

Chen Peixun and Wang Ding, 1988, The Chinese River Dolphin, *Lipotes vexillifer*, Endeavour, New Series, 12(4): 176—178.

Chen Peixun and Liu Renjun, 1989, Captive husbandry of the Baiji, *Lipotes vexillifer*, Occasional Papers of the IUCN Species Survival Commission (SSC), No.3: 81—85.

Haque, A., Nishiwaki, M., Kasuya, T. and Tobayama, T., 1977, Observations on the behaviour and other biological aspects of the Ganges susu, *Platanista gangetica*, Sci. Rep. Whales Res. Inst., 29:87—94.

Hua Yuanyu, Zhao Qingzhong and Zhang Guocheng, 1989, The habitat and behavior of *Lipotes vexillifer*, Occasional Papers of the IUCN Species Survival Commission (SSC), No.3:92—98.

Karandeyeva, O. G., 1969, Behaviour peculiarities and training of dolphins in captivity, Zhurnal vysshey Nervnoy Deyalel'nosti (Journal of Higher Nervous Activity), 19(1).

Layne, J.N. and Caldwell, D.K., 1964, Behaviour of the Amazon dolphin, *Inia geoffrensis* (Plainville), in captivity, Zoologica, 49(2):81—108.

Liu Renjun, Klinowska, M. and Harrison, R.J., 1986, The behaviour of *Lipotes vexillifer* and *Neopbocaena pbocaenoides* in the Changjiang River and in caplivity in China, In: Research on Dolphins (M.M. Bryden and R. Harrison, Eds.), 433—439, Clarendon Press, Oxford.

Liu Renjun and Wang Ding, 1989, The behavior of the Baiji, *Lipotes vexiliifer*, in captivity, Occasional Papers of the IUCN Species Survival Commission (SSC), No.3: 141—145.

Pepper, R.L. and Defran, R.H., 1975, Dolphin Trainer's Handbook: Part 1. Basic Training, Naval Undersea Center, San Diego.

Pilleri, G., 1970, Observations on the bebaviour of *Platanista gangetica* in the Indus and Brahmaputra Rivers, Investigations on Cetacea, (2): 27—60.

Wang Ding, Lu Wenxiang and Wang Zhifan, 1989, A prdiminany study of the acoustic behavior of *Lipotes vexillifer*, Occasional Papers of the IOCN Species Survival Commission (SSC), No.3:137—140.

Wang Ding, Wang Kexiong, Xiao Youfu and Sheng Gang, 1992, Auditory sensitivity of Chinese River dolphin, *Lipotes vexillifer*, In: Marine Mammal Sensory Systems (J. Thomas *et al.*, eds), 213—221. Plenum Press, New York.

第七章　白鳖豚的饲养

1980年元月12日，中国科学院水生生物研究所获得1头雄性活体白鳖豚，从而揭开了我国和世界上首次饲养白鳖豚的历史，至今已饲养16年。16年来，我们研究了白鳖豚的驯养技术，外伤治疗、内科疾病的防治和保健措施、食性、食量与营养、豚池建设和水质规范、科学管理，从而为我国人工饲养豚类动物奠定了理论和技术基础。

一、豚类饲养史

世界上首次尝试饲养并展出鲸类动物始于1860年英国伦敦的Westminster水族馆，以后在Arcachon Biological Station，Copenhagen和New York Aquarium都先后饲养过宽吻海豚(*Tursiops truncatus*)和白鲸(*Delphinapterus leucas*)，但所有这些努力都以失败而告终，一直到1938年在美国的Miami建立了世界上第一个海豚馆以后，才使大型鲸类动物的饲养成为现实。接着在美国的洛杉矶的Marineland of the Pacific和芝加哥的Brookfield Zoo相继建立了海豚馆，从而开创了世界人工饲养海豚的新纪元。以后海豚馆在世界上如雨后春笋般地快速发展起来，加拿大的温哥华，荷兰的Harder Wijk，德国的Duisburg，Nuremberg，Cologne，Hamburg，以及罗马尼亚、意大利、香港、日本、南非、英国、原苏联和其他许多国家和地区都相继建立了海豚馆(Pilleri，1983；M. C. Caldwell *et al.*，1989；R. C. Best，*et al.*，1989；D. Bain，1987)。在欧洲，Duisburg Zoo首次特别设计了一个曝气装置的海豚馆，豚馆大小为63m×35m×3.5m，并连有几个小饲养池，主养池装有水下观察窗，从而为海豚馆的规范化建设创造了经验。

据不完全统计，100多年来，世界上共有200多个地方饲养过的海豚共达7个科35个种约2 000多头，包括大型鲸类领航鲸(Pilot Whale)等，其中美国最多，日本次之(目前有33个海豚馆，共饲养过14种共453头海豚，其中以宽吻海豚最多达252头)(Enoshima Aquarium，通讯资料)。英国自1860年以来亦有16个地方养过海豚(M. Klinowska资料)。目前在世界各国还在不断增加海豚馆的数量，规模越来越大，越来越现代化。然而在美国有人正在掀起一个禁止人工饲养海豚的浪潮。

由于豚类动物聪明，经过训练能表演许多有趣的动作，使人们取乐无穷，一改一般动物园仅是动物品种陈列的沉闷局面，不断翻新的海豚表演，使我们百看不厌，亦为动物园带来巨额利润。例如，美国芝加哥Brookfield Zoo于1987年新建一个大型现代化海豚馆New Seven Seas，可容纳观众2 000人，门票每张2.5美元，1天表演6场，则光海豚馆1天的门票收入即为3万美元，动物园进门门票每张2.5美元还不计在内。更令人感兴趣的是海豚具有特殊的回声定位能力和易训练性，所以能按照人们的特殊需要进行训练，为人类的军事、经济活动和科学研究服务。例如，美国的海军海洋系统中心(Naval Oceans Systems Center)就饲养过122头宽吻海豚和其他四种海豚，共25头，专门从事为军事目的服务的海豚研究。

世界淡水豚类共有5种，人工饲养的仅有亚河豚，恒河豚和白鳖豚(图版XXVI，a、b)，其中以亚河豚最多最普遍。据不完全统计，从50年代到70年代，世界上共捕养过亚河豚共计100头左右(Robin C. Best and Vera M. F. da Silva, 1989)，50年代末、60年代初有20多个单位相继引进亚河豚饲养，仅1965年就引进34头亚河豚，但仅存活4头。例如，佛罗利达州(Florida)的Silver Springs of Ocala 1956年首次引进4头亚河豚，其中一头刚运到就死了，另一头活了一天，另二头存活一年多。美国到1966年为止，共引进70多头亚河豚，共存活19头，但以后都相继死亡，目前仅剩匹兹堡动物园一头雄性亚河豚，从1970年至今已存活25年(Caldwell, *et al.*, 1989)。1975年西德杜依斯堡动物园引进5头亚河豚，目前存活2头，至今已饲养20年。日本鸭川海洋世界亦养过亚河豚，但现在已不复存在。另外，1985年巴西布鲁塞尔的Sao Paulo捕得一头雌性大豚和一头雌性小豚，饲养至今仅10年(M. Klinowska, 1991)。恒河豚最早于1979年在加尔各答饲养过一

表7-1 世界淡水豚饲养情况

Table 7-1 Institutions keeping freshwater dolphins in the world

种名 Species	国家 Nation	饲养数 Number held	
		过去 Past	现在 Now
亚河豚 *Inia geoffrensis*			
杜依斯堡动物园 Duisburg Zoo	Germany	8	2
鸭川海洋世界 Kamogawa Sea World	Japan	2	0
Silver Springs of Ocala	U. S. A	4	0
匹兹堡动物园 Pittsburgh Zoo	U. S. A	1	1
Aquarium of Niagara Falls	U. S. A	1	0
圣保罗 Sao Paulo	Brazil	3	2
Sete Lagoas in Minas Gerais State	Brazil	8	0
恒河豚 *Platanista gangetica*			
伯尔尼大学脑解剖研究所 Institute of Brain Anatomy, University of Berne	Switzerland	8	0
鸭川海洋世界 Kamogawa Sea World	Japan	5	0
加尔各答 Calcutta	India	1	0
白鳖豚 *Lipotes vexillifer*			
中国科学院水生生物研究所 Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences	China	4	1
南京师范大学 Nanjing Normal University	China	1	0
江苏省水产研究所 Jiangsu Aquatic Institute	China	1	0

头,但仅存活 10 天,另一头幼豚在孟加拉国饲养 5 星期以后死亡。日本鸭川海洋世界于 1970 年 2 月 5 日从印度运回 5 头恒河豚,分别存活 74、78、158、299 天(Teruo, *et al.*, 1989)。瑞士伯尔尼大学大脑解剖研究所在 1969—1973 年先后从巴基斯坦运回 8 头恒河豚,存活时间分别为几天、1 年、3 年和 5 年(G. Pilleri, 1970)。70 年代以后,世界各国几乎停止引进淡水豚饲养,其主要原因是死亡率太高,很难人工饲养,另外淡水豚不能像海豚那样跳出水面,表演许多有趣的动作吸引观众,因此不能另外设馆卖门票,这样非但不能赚钱,而且维持费用昂贵。

我国在 1980 年以前仅有上海西郊动物园和青岛海产博物馆饲养过江豚,最长存活时间一年多。1980 年,中国科学院水生生物研究所首次饲养白鳖豚,其中 1 头雄性豚“淇淇”至今仍健康成长。以后又先后养过 3 头、分别存活 2.5 年、9 个月和 1.5 个月。江苏省水产研究所养过 1 头雄性白鳖豚,存活 129 天。南京师范大学养过 1 头雌性白鳖豚存活时间最短,仅 17 天(1981 年 3 月 3—20 日)。

从世界饲养淡水豚类的历史来分析,其成活率低的主要原因是:

①运输时死亡(如休克、肺炎等);②互相争斗受伤而死;③皮肤病;④肺炎和肾脏疾病;⑤饲养条件差或管理不当。

已知世界淡水豚类饲养情况见表 7-1。

二、捕捉与运输

1. 捕捉

白鳖豚为我国Ⅰ级保护动物,严禁捕捉,为了保护或特殊需要,需要获得活体白鳖豚,则应向国家农业部和濒危物种委员会申请并获得批准后方能捕捉。由于长江白鳖豚数量很少,水文条件复杂,难以捕捉,而且很容易在捕捞过程中造成伤亡,因此必须经过充分调查研究制订出安全可靠的捕捞方法。

安全获得活体白鳖豚的途径有多种,例如,湖北省石首市渔民在解放初期用守株待兔的办法获得过 6 头活体白鳖豚,即在长江找一个白鳖豚经常出没的一端封闭的港叉或江叉,把拦网理顺放在叉口的一边备用,网的一端固定 1 条长绳,绳子的另一端延伸到叉口的另一边放好备用,在叉口的两边均有人守候。当豚进入叉口数十米,便迅速拉动绳子,把网拦截叉口,使豚拦在江叉内,再用分段切割的办法把豚捕起。1978 年,我们用此办法获得过 3 头江豚。但是由于目前白鳖豚数量很少,很难找到这样合适的地方(白鳖豚研究组,1985)。

长江中往往发生白鳖豚搁浅在沙滩上。中国科学院水生生物研究所、南京师范大学和江苏省水产研究所均获得过搁浅的活体白鳖豚。

豚类动物搁浅的情况在海豚类屡见不鲜,有时甚至成百上千头海豚集体冲上海滩,造成大量死亡,至于海豚这种“集体自杀”现象的原因众说纷云。有的说是因为寄生虫或其他疾病造成,有的说是领头的豚带错了路等等。近年来 Klinowska (1986)研究了英国沿海海豚搁浅的情况,发现海豚是根据磁力线导航的,而同一强度的磁力线往往有的在海洋中,有的在陆地,当海豚沿着这条磁力线前进时,如遇陆地,就产生搁浅现象。英国发生海

豚搁浅的地方绝大多数都是在磁力线海陆交接处。造成白鳖豚搁浅的原因尚未研究，但根据我们"淇淇"的情况来看，可能是由于到浅水区捕食造成。

长江中普遍使用的一种渔具滚钩经常误捕到白鳖豚，其原因是滚钩钩住了鱼，白鳖豚去吃滚钩上的鱼，结果被滚钩挂上，豚体一经挣扎，便被滚钩缠满全身，由于无法出水呼吸窒息而死，所以应严禁用滚钩捕豚。根据我国的国情，长江水文和地理条件以及白鳖豚本身的特点，用声驱网捕的办法获得活体白鳖豚是一种较为理想的方法。中国科学院水生生物研究所 1986 年 3 月 31 日用这种方法获得了 2 头活体白鳖豚(华元瑜，1987)

由于白鳖豚喜欢集群活动，白鳖豚群体由家族群松散组成。枯水季节，白鳖豚成群活动在洲、滩附近，此时的分布密度较大，而且群体活动有一定的范围，节律性强，经常沿洲滩附近的缓水区以 2.7—4.9km/h 的游速上行，抵达大回水区后，在内作长时间停留。在每年 3—4 月份，气温水温逐渐升高，水位逐渐上升，鱼类经过冬天的停食越冬，逐渐从越冬的深槽出来，到边滩浅水区摄食准备产卵，而白鳖豚的活动规律与捕食密切相关，此时白鳖豚常到浅水区捕食，而在长江中捕豚，来往船只多，而且主航道水深流急，一则不能因捕豚而断航，二则在主航道亦无法作业，必须捕捉在浅水区的豚，因此选择 3—4 月份是最好的捕豚季节。

豚类动物有发达的声纳系统和特殊的回声定位能力，因而能准确地探知外界环境，并迅速作出反应，因此对声频干扰能有效接收并作出反应。根据白鳖豚的这一特殊功能，用多条机动木船发出的噪声形成水下声音屏障。由于"声屏"离豚群的距离可近可远，将产生弱或强的声场效应，迫使白鳖豚或避离或逃窜。在捕豚过程中，"声屏"能有效地代替大网，能驱赶豚群进入网捕区，又能防止网围时豚群逃跑。更为重要的是，长江中大回水区的下横流水流态特殊，水流从堰北水区压向岸边，利用这一水文特征，可以使捕豚围网自然收拢，对捕豚极为有利，因此将这种水域选为网捕地点十分理想。因为在长江中捕豚，水流力量巨大，要用人力把几千米的围网收拢是难以办到的。

根据以上研究结果，首先必须对长江白鳖豚作周密的调查，摸清它的分布区和活动规律，并选择符合上述条件的下网地点，即选择水深在 15m 以内的符合上述条件的大回水区，底部平坦，如水底有大树、沉船之类的障碍物必须事先清障或避开。下网区和收网区必须避开码头，拆除迷魂阵滚钩等各种作业。

捕豚的方法是将捕豚船只分为放网船和驱赶船，放网船队由主放网船和补放网船组成，每艘主放网船由一条稍大的机动渔船或由两条机船正、反相绑组成，补放网船为单船，每两艘主放网船为 1 对。每对放网船在装网之前用竹子结扎好装网平台，并铺上塑料布，船上的网要按顺序清理好，浮纲和底纲上的浮子和沉子都要一个接一个按次序放整齐，上下 2 层浮子或沉子之间均用塑料薄膜隔起来，网衣按顺序堆放在平台中间，每对放网船上的网，事先连接好备用。

捕前，两对主放网船分别泊在网捕区的上、下方等候。驱赶船在离放网船下游约 5km 的缓水区等候，一经发现白鳖豚群体，立即跟踪，要离豚群有一定距离，切勿过早惊动白鳖豚，一旦惊动，白鳖豚即会散群，并向深水区潜走，前进无规律，甚至向下游游走，以至无法下网捕捉。当豚群即将进入网捕区时，船行速度逐渐加快，变弧形队列为斜长条状，迫使豚群压向岸边浅水区。豚群一进入网捕区，两对放网船同时向下游和上游方向放网，呈弧形包围，大网衔接处由驱赶船发出机器噪声阻止白鳖豚逃窜。将白鳖豚围住后，补放网船

在下横流水区上方补放隔网，"切割"下横流水区之外的网，使大网始终处在下横流水的作用范围之内。当网压向岸边后，顺势收网捕豚。一般来讲，当网的范围小到一定程度，豚会冲网，此时分布在围网周围的驱赶船即要高度注意，一经发现豚冲网，要立即将豚捕起，不然由于网衣很重，豚上网后无法到水面换气而在水下闷死。把豚捕起时，首先要托起头部，让豚呼吸，如被网缠住，要小心用刀把网割破取出豚，千万不要让豚呛水或受伤，给以后的饲养造成困难。

1984 年 11 月 17 日，我们用 7 艘 4.5 匹马力的机动木船，对约 20 000ha($200km^2$)水面的洞庭湖君山渔场内的江豚群，采用"声驱网捕"的方法进行围捕。由于江豚群始终活动在长 1500m，上口宽 300m，深 1.2m，下口宽 500m，深 2.5m 的沟内，沟周围水深不超过 1m，仅用 1 000m 的网在 50min 内就将 25 头江豚全部围住。

1986 年 3 月 16 日，我们配备 16 艘 4.5 匹马力机动木船，携带由 32 股胶丝线织成的、网目 16cm、网长 2 000m 的捕豚网一部，组成驱赶船队(6—8 艘)和放网船队(8—10 艘)，来到湖北省监利县观音洲水域，选择了观音洲对面和大湾对面两个水域为捕豚地点。

3 月 23 日上午 8 点半，豚群按常规路线进入大回水区，驱赶船立即尾随，9 点，豚群进入预定放网水域，放网船仅用 5min 就放好了 1 700m 长的大网，将 9 头白鳖豚全部围住，由于围网面积过大，大网难以控制而未捕成。

3 月 31 日上午 8 点半，驱赶船队发现一群白鳖豚 5 头，便边跟踪边将它们往岸边压，9 点 20 分，豚群被迫压向大湾对面下横流水区，待最前面的两头个体太大的豚过去后，放网船立即放网，仅用 3min 就用 1 000m 长的大网围住了 2 头豚，同时补放网船立即分片切割，迅速缩小网围圈，大网始终处在下横流水中，网借水力，逐渐压向岸边浅水区，到一定范围后，豚即冲网，这时捕豚队员立即跳入水中把豚托起，并把网用菜刀割破，把豚捕起，用木船放在担架上送到指挥船待运。

"声驱网捕"，是在多年生态考察的基础上，根据白鳖豚的生活习性及其栖息环境的水文，地理条件所拟定的一种捕豚方法。在顺应长江的实际情况，不影响航运的前提下，能够在水浑流急的大江中巧借下横流水的力量、"借流克流"，变不利因素为有利条件，不仅捕豚时间短，节省人力、财力，而且能有选择性的捕捉适合科研要求的对象，这是目前在长江捕活豚的一种可行方法(白鳖豚研究组，1985；华元渝，1987)。

2. 运输

鲸类动物终身生活于水中，皮肤极易干裂，如果运输方法不当，很容易受伤和得病。因此在陆地上离水长途运输，容易造成伤亡。世界各国的鲸类动物在运输过程中死亡的例子屡见不鲜。鲸类动物的运输方法有多种(白鳖豚研究组，1985)。

(1) 半干半湿运法　1978 年，为取得活运白鳖豚的经验，我们试运了三头江豚。其方法是在 2.5 t 的卡车箱底垫放三层草垫，利用卡车的墙板加横档 2 根，用帆布围成 245cm 长，215cm 宽，85cm 深的箱形装置。箱底放一木框(长 2m，宽 1.5m)，分为 3 格。每格分别铺 2—3 层 0.5cm 厚的泡沫塑料，上面再分别铺 4kg 重的棉絮 1 条，箱内加 20cm 深的水，使水仅浸到江豚的腹部，每格放江豚 1 头。在江豚身上覆盖湿布 1—2 层(使头部鼻孔露在外面)，头部稍稍垫高。在运输途中不断地在江豚身上浇水，以保持其皮肤湿润(鼻孔不要进水)。受伤部位涂上紫药水。我们用这种方法，经过 12h 以上的运输，行程

350多km，将3头活江豚安全运回水生所饲养。这种方法的缺点是由于公路路况太差，颠簸厉害，箱中的水晃动剧烈，造成运输的复杂性。

(2) 干运法　1980年1月12日，我们从湖南城陵矶成功地运回1头活体白鳖豚"淇淇"。起运前，渔民用绳子结住白鳖豚尾柄，栓养于江中。起运时把特制担架插入江水中，从水中兜起白鳖豚，然后抬上汽车。在抬上汽车之前，先把两床4kg重的棉絮垫于吉普车上，上面再铺1cm厚的泡沫塑料4层，形成一个底部松软的"床"，然后把白鳖豚放在上面，除喷水孔外，体表均盖上湿布。开始白鳖豚略有挣扎，但很快便安静下来。

起运的这天，气温在零度以下，间有小雨雪。运输途中，经常给其洒水(除鼻孔外)以保持皮肤湿润，防止白鳖豚下腹部与所垫之物紧压而发热，且可减轻粪尿污染。途中除注意观察白鳖豚的行为活动外，还测定其呼吸间隔时间，起运时呼吸间隔为7s，最长可达30s，一般为10—20s；途中的呼吸间隔时间最短4s，最长为20s，一般为10—20s；运输临近结束时，最短为4s，最长为44s，呼吸的间隔时间明显地延长，说明白鳖豚渐渐适应途中运输状况，运输情况良好。经近6h的运输，安全抵达中国科学院水生生物研究所。

以后我们用同样方法成功地运回1头雄性白鳖豚"容容"和5头江豚。

(3) 标准运法　总结我们自己的实践经验和国际上的运豚方法，确定一种活体运豚的方法是必要的。

1) 运输前的准备：根据动物身体的大小做一个防水的无盖木箱(即箱内衬以塑料布或花胶布、帆布等)，豚放入箱内时要保证头尾和体侧与箱壁有8—10cm间隙，以防动物挣扎摆动时受伤。箱底放有泡沫塑料的衬垫，因为豚生活在水中习惯于失重的环境，当身体出水后会受到重力过度的影响。泡沫塑料一方面可减轻重力的影响，另一方面能吸水，保持皮肤湿润，又能消除路况不好引起存水四溅的问题。就白鳖豚而言，一般最大体长为2.5m，中等个体为2m左右，最大体宽(包括鳍肢平展的宽度)约80cm左右，因此箱子的大小以长2.5m，宽1m，深1m为宜，具体结构如图7-1和7-2所示。

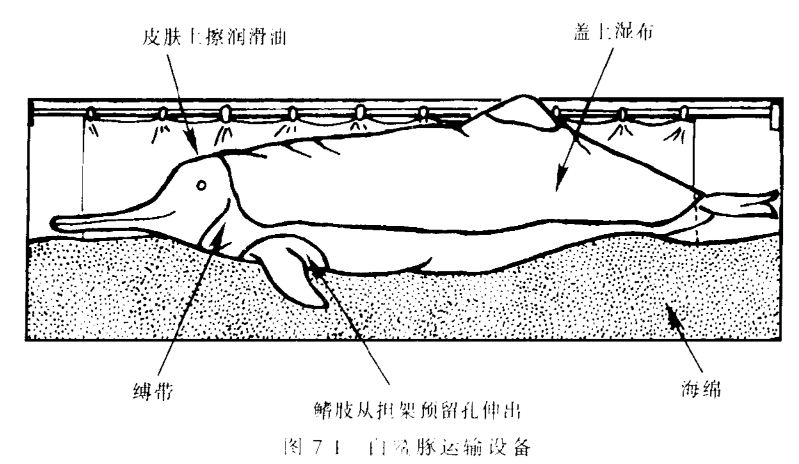


图7-1　白鳖豚运输设备

Fig. 7-1　Design for transportation of *Lipotes vexillifer*

另外还需做一个特殊担架(如图7-3所示)。布料以细帆布为宜。在细帆布上衬一层0.5cm厚的泡沫塑料，再在泡沫塑料上衬一层毛巾被或线毯，把它们缝合。在鳍肢部位留上孔，以便让鳍肢伸出，否则会使鳍肢折断。在肛门部位留一孔，以便运输中豚排出大小

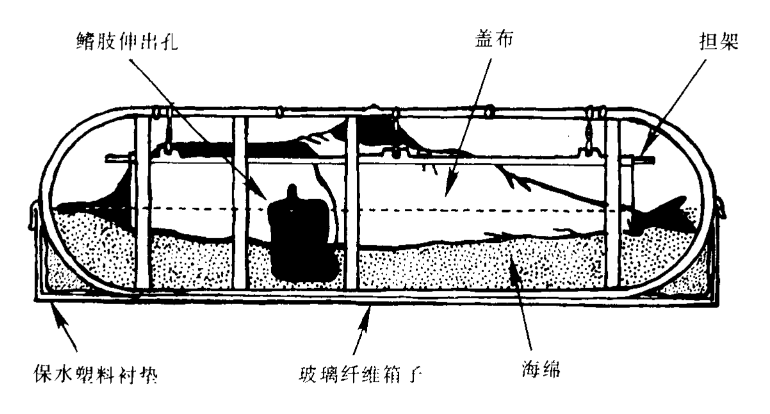


图 7-2　白鳖豚运输设备的结构
Fig. 7-2　Construction for transportation of *Lipotes vexillifer*

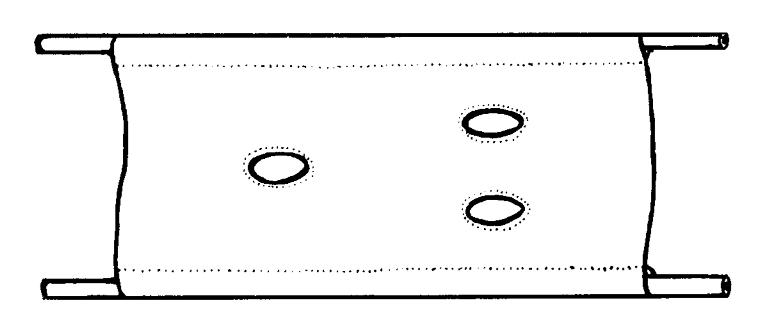


图 7-3　运输担架
Fig. 7-3　Stretcher for dolphin's transportation

便。布的2边缝成长筒形的边，以便铁管或合金铝管穿过，担架装上豚放入箱子时，或者是把担架杆子搁在箱上，并固定住，或者如图 7-2 所示两边设计特殊的硬质架子，把装豚的担架挂在架子上，总之要做到牢固可靠。

2）豚体处理：在豚体的散热区，即鳍肢、背鳍、尾鳍、尾柄、鼻孔和眼睛周围，吻均擦上由软膏和氧化锌合成的羊毛酯或油膏，一方面防止湿气造成的过热情况，另一方面防止皮肤干裂。另外在担架上附有束带，把豚固定住，要做到既要缚住豚体，又要不强制地拴住整个动物身体，以防豚剧烈跳跃而又不使它感到不适。

另外在运输过程中，在放豚的箱子上方，有一个自动喷水的装置，不断把水喷到豚体的盖布上。

3. 护理

运豚是一项复杂而艰苦的工作。豚身边应有 1—2 名护理人员，密切注视豚的行为，如豚挣扎太凶，显示出太不安静，要适当注射镇静剂。如出现休克，要适当注射兴奋剂。豚起运时，要抽血检查血液指标，以便测定是否有内科疾病。如时间和条件不允许，要适当注射抗菌素类药物，特别预防肺炎和肝炎等疾病，一般在运输途中豚拒食，但有时豚当鱼放入口中时会自动吸食吞咽，此时可适当吃一些消炎药物。在运输途中，要每 1h 测

10min 呼吸频率，在一般情况下，白鳖豚的呼吸间隔时间为 10—20s，如呼吸太急促和太缓慢，都要十分警惕，及时采取措施。

下池前后的护理：豚下池之前要治伤，抽血样，测量体长体重及各部位数据(按国际标准法)。处理完毕后，用担架抬入饲养池，此时要把担架压入水中，让豚体脱离担架。同时用两手托住豚体，在水中伴游一段时间，因为豚经过长途运输，往往一时难以自由游泳，如不给以帮助，往往会呛水，造成严重后果，待其能自己游动，自由呼吸后才脱手，并昼夜观察它的行为，到一切正常后，才能投入正常管理。

运豚的工具可用汽车、轮船、飞机，但以飞机运豚最好，因为豚运输的成活率是与运输时间成反比的，尽量缩短运输时间是很重要的。1986 年 3 月 31 日，我们用直升飞机从捕捞现场直接把豚运到饲养基地，效果非常理想。

三、驯　　养

1. 开食与摄食训练

豚类动物刚到人工环境，开食是非常重要的一关。许多豚类动物由于不开食而死亡，因为豚类动物主要从食料鱼中获得身体代谢所必要的水份和营养，如果 3 天以上不开食，豚即会因失水而造成体内代谢的紊乱，出现一系列病症，对外界的抵抗能力减弱。最明显的症状是皮肤失去光泽，进而起皱，这就是非常危险的征兆，必须引起注意。

在刚开始几天，可以在豚池放入适口的活鱼，例如鲤、鲫等营养价值较高的鱼类，最好剪去尾巴，因为豚对环境陌生，活动范围亦受到很大限制，鱼剪去尾巴，游泳能力减弱，便于豚追捕。与此同时，必须坚持喂食训练，每天 5—6 次，即把敲昏的新鲜鱼丢到豚前进方向正前方 1m 远的地方，开始豚听到丢鱼击水声会惊慌失措，但只要坚持训练，它会慢慢习惯，懂得这种丢鱼击水声并不会对它造成危险。以后当听到丢鱼声便不再惊慌。这样坚持训练 2—3 天以后，即会知道丢的是鱼，并开始捕食丢的鱼，以后慢慢增加捕食量。训练时要有耐心，使豚建立起听到投鱼水响即为进餐的习惯。在训练时，未吃到的鱼会漂于水面，每次训练完毕，漂在水面上的鱼可暂不捞起，豚在以后游动的过程中会慢慢捕食，但在下次训练前必须把剩下的漂于水面的鱼捞起，以免豚吃了变质的鱼而得病。待豚完全习惯投喂以后，就要定量供应，投喂鱼的规格应视豚体大小而定，最好 150—200g 为宜。

接着便可开始训练豚从饲养员手上取食。训练时用手握住鱼体，轻轻拍击水面，如豚惊怕，可先投喂，让豚逐步接近训练台。豚习惯以后，再用上述方法训练，约一星期以后，豚即可逐步适应从饲养员手中取食，经过一段时间，豚一听到饲养员的脚步声，便会主动游过来张嘴待食了(图版 XXII，a)。

如果豚 3 天以后还不开食，就要采取强迫进食的方法。即把豚捕起放在厚泡沫塑料上，然后用食指轻压嘴角，当豚张开嘴巴后把鱼放入嘴中，让它自己吞咽。如豚总把鱼丢开，可以由 1 人抱住豚头部，然后按上述方法喂食。如豚仍不能自动吞咽，则要采取进一步措施，即用两条约 1 尺长的橡皮管，包上毛巾。当用食指轻压豚嘴角时，嘴会张开，便迅速把包有毛巾的橡皮管送入豚嘴，然后 1 人压住下颌，1 人拉起上颌，强迫豚张开嘴巴，然后第 3 个人用戴有手术薄塑料手套的手拿鱼送入豚嘴，鱼一定要头向喉部，从豚的舌头上

面送入豚嘴，并稍稍伸入食道，这样豚会自动吞咽。同时可根据情况把必要的药物放入鱼体内一并吃进。

2. 食性

白鳖豚喜食淡水鱼类，除了黄颡等多硬刺的鱼类以外，一般都行。可投喂的鱼类主要有鲢、鳙、草鱼、鲤、鲫、翘嘴红鲌、团头鲂、细鳞斜颌鲴、麦穗鱼、红鲤和红鲫。白鳖豚与亚河豚不同，它对淡水鱼类的种类和颜色都没有选择性。我们曾试喂以猪肉、鱼形馒头、苹果和菜梗等非鱼食品，它虽然咬食，但立即吐出，从不吞咽。

3. 食量

豚类动物的日食量随其种类和个体大小而异。例如宽吻海豚的日食量为其体重的4%—6%；伊河豚为5%—8%，真海豚（*Delphinus delphis*）和镰鳍斑纹海豚（*Lagenorhynchus obliquidens*）为7%—8%；鼠海豚（*Phocoena phocoena*）可达10%—12%。对每一种动物的个体大小，不同季节的日食量都需认真探索，少食或过食均对生长和健康不利。

我们饲养的白鳖豚"淇淇"刚来时，饲料鱼是一齐放到豚池中，任其自由捕食。以后开始训练它按照饲养员投一尾吃一尾的办法，定量定时地进食。参照海豚饲养的标准，开始按体重的3%最低食量投喂，以后逐步增加。1980年5月20日曾做过白鳖豚最高日食量的试验：上午喂1次，一直投鱼到"淇淇"摄食迟缓，甚至身体失去平衡，共吃食3.45kg；下午喂1次，喂到拒食为止，吃鱼2.7kg，1天共吃鱼6.15kg，占体重的16.8%。以后的日食量便稳定在10%—11%，但在同年不同季节亦有变化。炎热的夏天日食量为8%—9%，寒冬可达12%。由于"淇淇"刚来时不足2岁，正在生长快速时期，适当多吃一些是应该的。另外，每天的食量不能千篇一律，应该有所变动，即在每天平均食量不变的情况下，有时可以少喂一些，有时可以多喂一些，实践表明，这样有利于豚的健康。

4. 摄食习性

白鳖豚的捕食方式为囫囵吞型，并不咀嚼。上下颌每边各有30—34个尖锐的同型犬齿，上下相嵌，起到牢固地抓鱼的作用，然后利用头的左右摆动和舌头调整鱼的位置，使鱼头朝咽喉（这是为了使鱼的鳍刺顺向滑过，不致刺伤咽喉），然后吞咽下去。白鳖豚也没有像亚河豚和伊河豚那样把不易消化的鱼骨，甚至鳔和鳞片又吐出的反刍习惯。白鳖豚的消化能力极强，所排粪便为颗粒极细的泥状便，其中看不到有鱼骨刺等残渣，这也可从尸体解剖中得到证实。胃中多为两种情况，一是刚刚吞食尚未消化的鱼，另一是空胃，很少出现残存或半消化状的食物。

饲料鱼的大小受豚体咽喉大小的限制，白鳖豚吃食为囫囵吞枣型，能否吞下决定于饲料鱼的体高和体宽。我们曾用不同大小和体高、体宽的6种鱼投喂"淇淇"，观察它能够吞食鱼类的最大个体。当"淇淇"体长为1.45m时，对体高在6.5cm以下（重220g）的鲢均可吞食，6.5cm以上（重225g）的鱼则无法咽下。鳙、鲤、鲫因其身体比鲢厚，也就是说，虽然体高相同，但它们的体围则比鲢为大，因此吞下的最大体高值相应地减小。鳙为5.4cm（重125g），鲫为6.0cm（重200g）。而体型扁薄的鳊，它能吞食的最大体高为

7.1cm,体重仅 110g。细鳞斜颌鲴身体较厚,体高 5.6cm,体重已有 215g,这是"淇淇" 吞食它的最大体高值。吞食较大的鱼会使豚的食道撕裂,危及生命。1993 年我们有 4 头江豚就是因为吞食大鱼使它们的食道全部撕裂。

随着豚体的增长,吞食的鱼亦随之增大。以喂食鲢为例,"淇淇" 体长 1.43m、体重 37kg 时,可吞食体高 5.4cm 以下的鲢;体长 1.45m、体重 45kg 时,可以吞食体高 6.5cm 的鱼,体长 1.90m、体重 100kg 时,能吞食鲢的最大体高为 9cm。

5. 营养与卫生

饲料鱼必须是无污染的水里养出来的,同时还要求新鲜无病。将鱼运回后,应放在水泥池中暂养数天,这样既可达到净化的目的,又可淘汰那些不健康的鱼。喂食前 30min 还需将鱼置于盐水中消毒,冲洗干净后,严格定时定量地投喂。

由于饲料鱼需要量大,较高质量的品种来源有困难,我们主要喂以鲢、鳙,除了尽量设法补充其他种类,如鲤、鲫外,还应喂给适量维生素药物,补充食物鱼中营养元素的不足,以增强"淇淇" 的体质和抗病能力。每日喂一定量的维生素 C、E,复合维生素 B,叶酸等;在"淇淇" 外伤治疗阶段,还增给以蜂王浆。喂药的方法很简便,将饲料鱼胸鳍处剪一小口,把药物用镊子塞于鱼腹中,然后投喂,疗效较好。近年来我们喂以一种叫"施尔康" 的营养药,这种药是由多种维生素组成,每天喂 1—2 片即够,效果良好(陈佩薰等,1986;Chen *et al*., 1989; Liu, 1981; Liu, 1993。图版 XXVII,d)。

四、疾病防治

1. 外伤治疗

白鳖豚在长江中数量很少,获得活体极为困难,偶然获得的活体,一般均已受伤,因此掌握创伤治疗的有效方法是进行人工饲养的首要条件(刘仁俊、林克杰,1982)。

治疗豚类动物的局部擦伤是在伤口涂抹羊毛脂类药物,较为严重的创伤,则把动物捕起治疗,或经常给水中动物的创部喷药治疗,但愈合速度均很慢,一般需要半年至一年以上的时间才能逐步愈合。我们采用云南白药等有效药物、带药纱布引流、特别绷带包扎、湿治为主、干治与湿治相结合等综合措施,使一头有严重创伤的白鳖豚"淇淇" 经 4 个多月的治疗,伤口全部愈合,取得了较好的疗效(图版 XXVI c、d,图版 XXVII,a、b、c)。

(1) 临床资料　　1980 年元月 11 日,渔民用抓钩把"淇淇" 捕起时使其颈背部钩伤。位于喷水孔右后方 10cm 处有一口径为 4cm 的伤口,其右侧 10cm 处另有一个同样口径的伤口。两伤口边缘不整、外翻,离伤面 1.5cm 深处两创腔相通,创腔最深达 8cm。另在背鳍前方有一条 7cm 长的损伤,最深处 0.5cm。尾柄右侧一大片在栓养于江边时被木船擦伤。尾柄后部背脊及腹面,尾鳍基部等数处都有栓养绳索勒伤的伤口。在白鳖豚伤口化脓病危时的治疗过程中,又因双氧水而致大面积化学性损伤,其中距喷水孔后缘 2cm 处有一条 10cm 长的深度损伤,患部表皮大片溃落,深度损伤处皮肤全部坏死脱落,露出结缔组织,最严重时由于伤口感染,使白鳖豚整个颈背部大面积溃烂,其他多处损伤局部溃烂,伤势严重(图版 XXVI,d)。

患处培菌试验结果为革兰氏阳性杆菌和革兰氏阴性杆菌及 I 型荧光极毛杆菌(*Pseu-*

domonas fluorescens, biotype I)，药敏试验结果对庆大霉素极敏感。白血相：中性核细胞70%—72%(正常值60%以下)，淋巴细胞19%—21%(正常值25%—30%)，嗜酸性细胞3%—7%(正常值10%—20%)，粪便为泥状便。镜检粪便颗粒极细，无寄生虫卵，亦未发现有血、脓和消化道上皮细胞脱落等病理症状。

心电图、超声波及体表散热功能均良好，体温35℃左右，心率120—130次/min。

综上所述，该豚体质健康，并无内科疾病，主要是由于伤口被细菌感染引起发炎溃烂。

(2) 治疗过程及结果

1) 病危时的症状与治疗：1980年1月22日下午5时半，发现白鱀豚体色由灰白色变为灰黑色，身体失去平衡，潜水困难，只能漂浮于水面无力地游动，呼吸短促(平均4—6次/min)，有时连续在水面停留、呼吸，显得异常衰弱。经起水检查，呼吸频率7—10次/min，心率120—132次/min。伤口边缘不整，外翻，创围肿胀，轻压伤口，流出大量淡绿色脓液和坏死组织。其他部位的损伤也有感染症状。

临床印象为感染创伤。我们在北京动物园兽医的指导并亲自参与下，把动物放入实验室临时治疗池干治。

干治方法：用帆布和框架做成长1.5m、宽0.8m的临时病床，上铺棉絮和泡沫塑料；然后把动物放在病床上，用绳索吊于长3m、宽2m、深1m的水泥池中。先将水池消毒，放入自来水，调节进出水管的水量，使水面维持在浸没动物腹侧的水平，自来水不断循环更新，以保持水的清洁。动物身体用湿布覆盖，并不断洒水，以保持皮肤湿润。

伤口处理：先用3%双氧水，后用0.1%新洁尔灭溶液清洗创面，再撒布氯霉素粉和玉真散粉，创腔内注入维氏油膏15ml。

药物：上下午各注射40万单位青霉素1次，链霉素40万单位1天1次，口服丙舒磺0.5g 1天2次，长效磺胺0.5mg 1天1次。

结果：动物经59h又10min的治疗，化脓停止，炎症消退，于25日上午9时40分，经注射120万单位长效青霉素和50万单位链霉素，并口服长效磺胺1片后下水。动物活动恢复正常，并能追逐小鱼，但由于在清洗伤口时被双氧水致伤，引起颈背部皮肤大面积溃落。

2) 深部伤口的治疗：由于该豚钩伤很深，尽管化脓消除，但撒布上的药物在水中很快溶解消失，伤口再次感染腐烂，难以愈合。采用引流纱条的办法却能取得较好的效果。

治疗的方法是伤口经0.1%新洁尔灭清洗以后，撒布云南白药，再用纱布条浸透维氏油膏，撒以生肌散粉，然后把此纱条塞于创腔内，4—7天捕起换药1次。创面周围涂紫药水。

结果从1月25—31日，创腔逐渐由肉芽填充，又经1个月的治疗，两创伤仅剩2cm深，长势良好，但伤口愈合至此，无法施行纱条引流，再无进展。

3) 伤部大面积溃烂的治疗：从2月1日至4月9日，共捕起治疗10次。在此期间，由于天气逐渐转暖，水温亦从原来的10℃以下逐渐升至15—20℃。后来由于引流纱条无法应用，创伤愈合至一定深度后不但再无进展，并因伤口暴露又引起细菌感染，每次起水换药，创面均有一层化脓性腐肉。腐肉表面长有絮状的水霉菌的菌丝体。随着气温的逐渐升高，感染越来越严重，致使喷水孔后的整个颈背部约20cm×20cm的区域大面积溃烂，两钩伤创面烂通。喷水孔后化学性损伤最为严重的区域逐步烂成10cm长、1.5cm

宽、1cm 深的大伤口。其他化学性损伤区的皮肤大部烂穿，露出体脂层，尾部等其他 10 多处伤口亦逐渐腐烂扩大，喷水孔前唇上亦长有一块水霉菌感染灶。我们在总结前一段治疗实践的基础上，根据诊断结果，制定治疗方案如下：

干治(48h，治疗设施同前)：① 用 4% 氯化钠溶液 + 4% 小苏打溶液清洗创面；② 消毒药棉浸透庆大霉素针剂后敷于溃烂处 1h；③ 云南白药撒布创面；④ 用前述浸满药物的纱布铺盖于创面；⑤ 除钩伤外其他伤口及溃烂部位均涂红霉素软膏。

湿治(5 天)：除作上述处理外，再用消毒纱布叠成 4 层，大小刚好盖住整个颈背部溃烂面，中间再夹两层涂满医用凡士林的纱布，施用后，扎特制绷带保护固定。

特制绷带的做法是：用消毒白细布 1 块，大小比上述纱布稍大，前后端及中间各附 1cm 宽缚带 1 条，前端 1 条缚于喷水孔稍后，中间 1 条缚于鳍肢前，后端 1 条缚于鳍肢后。缚带全部用针线缝合，这样比较平服牢靠。缚于鳍肢后的 1 条主要作用是防止绷带前缩而盖住喷水孔。由于白鱀豚始终向前游动，偶尔停留原地，因而后来取消了后端 1 条缚带(图 7-4)。

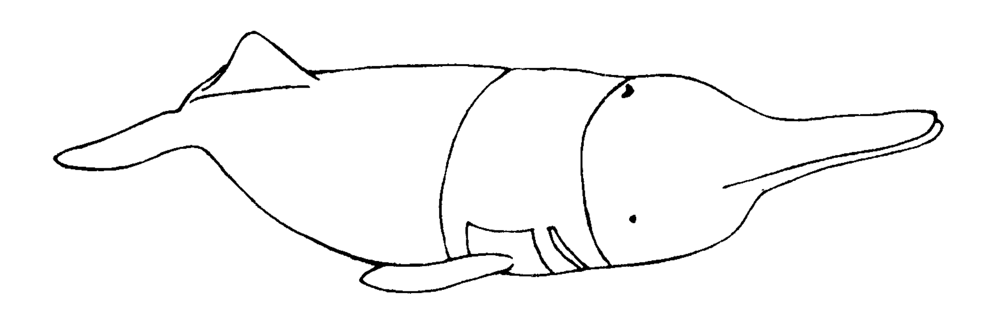


图 7-4 特别绷带包扎后的白鱀豚

Fig. 7-4 *Lipotes vexillifer* was applied a special bandage in the form of a vast

尾部等其他小伤口经消毒处理后均撒云南白药，再用红霉素软膏封口。

内服药：

复合维生素 B	2 片 × 2/ d；	维生素 C	0.1g × 2/ d；
维生素 E	5mg × 2/ d；	叶酸	5mg × 2/ d；
肝 B_{12}	1 片 × 2/ d；	蜂王精	50mg × 2/ d；
维生素 B_1	20mg × 2/ d。		

饲养池的消毒与水质处理：两个饲养池每隔 5—7 天轮换 1 次，将换出的池水抽干，用饱和硫酸铜溶液泼洒全池消毒并杀除藻类，经清洗后重新放入自来水，池水游离氯含量为 $0.1—0.5 \times 10^{-6}$。

结果：4 月 10 日上午 9 时 40 分捕起干治，经 48h，创面腐肉大部脱落。4 月 12 日上午干治结束放入水中，所扎绷带并不影响白鱀豚的正常活动。16 日捕起进行第二疗程，见溃烂面坏死组织全部脱落，代之以灰白色新生上皮组织，钩伤及喷水孔后的化学性损伤严重区的创面全部长出新生组织，稍加擦洗即有鲜血流出。创部周围长出 1 圈 2mm 厚的清洁、完整的上皮组织，从四周向中间伸展。5 月 5 日较浅的钩伤全部愈合，其他小伤口

亦大部愈合。

5月30日另一较深的钩伤亦全部愈合。7月10日化学性损伤严重区亦全部愈合，至此白鳖豚创伤全部治愈。

(3) 脓肿的治疗　豚体皮肤有时长有脓肿，开始很小，如任其发展，会很快长大，最后破溃，形成较大的伤口，给治疗带来困难。开始对尾侧部小脓肿涂擦紫药水的方法治疗，结果无效。待破溃后再治，经一个半月后才治好。以后一经发现，立即剪破，排除脓血，经清洗消毒，撒布云南白药再用红霉素软膏封口，一星期即愈。

从我们十多年治疗白鳖豚外伤的经验来看，云南白药、生肌散和维氏油膏等为治疗白鳖豚创伤的有效药物。为防止药物在水中过快的散失，油膏类药物的应用是必要的。

3%双氧水对化脓伤口有较好的消毒效果，但却使双氧水流经的好皮肤大面积损伤，增加了以后治疗上的困难。4%氯化钠+4%小苏打溶液对白鳖豚溃烂伤面的消毒效果良好，但对长出新生组织的伤口刺激太大，此时不如用0.1%新洁尔灭更为稳妥。

干治时用红霉素软膏涂擦创面及周围皮肤，结果发现创面及周围皮肤干裂，甚至溃落出血，但湿治时用作小伤口的封口却很理想，用作水霉菌感染创面的治疗效果亦佳。

在水质不良的情况下，用绷带包扎伤口是治疗白鳖豚创伤的重要措施。开始由于伤口暴露于水中，致使伤情不但没有好转，反而由于细菌感染而使伤口大面积溃烂，后采用绷带包扎取得了极佳的治疗效果。喷水孔后较为严重的化学性损伤，由于绷带有时包住，有时包不住，结果又经40多天才愈合。不是行开放疗法的小伤口有些与用绷带包扎的颈背部大创伤同时愈合，有些甚至更晚。

治疗实践证明，绷带包扎并不影响包扎区皮肤的正常代谢机能，经50多天的包扎，皮肤并未发生坏死等异常情况，即使在1981年8月(水温高达30℃以上)治疗脓肿时，在30多天的包扎治疗过程中亦同样良好。

把动物放到实验室治疗，其主要目的亦是为了维持药效，防止感染，但此时动物活动受到很大限制，又不能吞食，胸腹部长时间受压，而用绷带包扎既达到维护药效、防止感染的目的，又避免了干治的缺点，因此经常捕起干治并不必要。

海豚创伤的愈合方式是首先在结缔组织上长出很多点状灰白色的皮肤组织，然后由点扩大成面，最后达到整个创面的愈合。而白鳖豚不同，它首先在伤口四周长出完好的新生上皮组织，然后由四周向中央伸展，最后愈合，遗留下尤如拆线后的痕迹，最后痕迹消退。与正常皮肤不同的是新生上皮颜色更浅，而且略有凹陷。

2. 腐皮病的致病细菌与治疗

白鳖豚从开阔的长江转移到豚池人工饲养，要能适应水温变化大，溶氧量低和无显著流速等生活环境，保证平安无事，是比较困难的。由于这些生态环境发生了变化，破坏了长期以来它所适应的水体环境的平衡关系，便对白鳖豚的健康起着不利影响，在水生所饲养的白鳖豚，常患有一种细菌性疾病——腐皮病。此病在每年的秋、冬两季，特别是在水温较低的冬季，经常发病。发病时，患处皮肤腐烂，掺杂着斑点或块状病灶，大小不一，形态各异，从头部吻端直至尾部，以及各鳍上都有发现。对白鳖豚腐皮病的致病细菌进行分离、培养、致病性和分类鉴定研究结果(表7-2—7-4)，初步确定为I型荧光极毛杆菌(*Pseudomonas fluorescens biotype* I)为其致病菌(徐伯亥、熊木林，1985)(表7-2—7-4)。

表 7-2 W81-11 菌株对鱼体的人工感染试验(引自徐伯亥等,1985)

Table 7-2 Artificial infection test with W81-11 strain on fish

菌号	次数 No.	试验鱼 Testing fish		发病数 Diseased fish	未发病数 No of diseased fish	平均水温(℃) Water temperature	感染方法 Infect method	菌液浓度 (MCF)	观察天数 (天) Day	病情记录* Patient's condition
		鱼别 Species	条数 Fish quantity							
W81-11	1	鲢	8	7	1	18.4	涂抹		14	++ ++ + + + + ++ −
	2	草鱼	8	7	1	20	涂抹		10	+ + + + + + + −
	3	草鱼	10	9	1	22	涂抹		14	+ + − + + + + + + +
	4	鳙	5	5	0	13.3	涂抹		15	++++ ++++ ++++ ++++ ++++
	5	草鱼	5	5	0	13.3	涂抹		15	++ +++ ++ ++ ++
	6	草鱼	3	3	0	13.3	涂抹		15	++++ +++ +++
	7	鳙	3	3	0	13.3	涂抹		15	++ ++++ ++
	8	罗汉鱼	5	5	0	25	涂抹		5	5天内全死,+ + ++ + +
	9	罗汉鱼	3	3	0	13.3	涂抹		6	6天内全死,− + ++
	10	草鱼	5	5	0	25	浸洗	3	7	++++ ++++ +++ ++++ ++++
	11	鳙	5	5	0	25	浸洗	3	7	++++ +++ ++ +++ ++
	12	草鱼	9	9	0	10.9	浸洗	3	15	++ + +− ++ ++ + + + +
	13	鲢	5	5	0	16.9	涂抹		20	+ +++ ++ +++ +
	14	鲫	2	2	0	16.9	涂抹		20	+ ++
	15	草鱼	5	5	0	25	涂抹		15	+++ + + + +
	16	鳙	5	5	0	25	涂抹		20	++ + + + +
	17	草鱼	5	4	1	30	涂抹			+ + + + −(感染4天后趋好转)
	18	草鱼	5	3	2	35	涂抹			+ − + + −(同上)
	19	草鱼	5	4	1	30	浸洗	6		− + + + +(同上)
	20	草鱼	5	4	1	35	浸洗	6		+ − + + +(同上)

* −未发病,+稍微,++明显,+++溃烂,++++肌肉烂成火山状。

△浸洗时间均为10—15min。

表 7-3 荧光极毛杆菌、恶臭极毛杆菌和 W81-11 等菌之间性状比较(引自徐伯亥等,1985)

Table 7-3 Comparison of characteristics between *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, W81-11 and other strains

特性 Character	荧光极毛杆菌 *P. fluorescens*	恶臭极毛杆菌 *P. putida*	W81-11	W82-16	1.33	1.55
明胶液化	+	−	+	+	+	+
蛋黄反应	+		+	+	+	+
海藻糖利用	+		+	+	+	+
肌醇利用	+	−	+	+	+	+
肌酸利用	−	+	−	−		
马尿酸盐利用	−	+	−	−	−	−

表 7-4 荧光极毛杆菌、铜绿极毛杆菌和 W81-11 等菌之间性状比较(引自徐伯亥等,1985)

Table 7-4 Comparison of properties between *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa*, W81-11 and other strains

特性 Character	荧光极毛杆菌 *P. fluorescens*	铜绿极毛杆菌 *P. aeruginosa*	W81-11	W82-16	1.33	1.55
鞭毛	>1	1	>1	>1	>1	>1
产绿脓素	−	+	−	−	−	−
4℃生长	+	−	+	+	+	−
41℃生长	−	+	−	−	−	−
蛋黄反应	+	−	+	+	+	+
产生果聚糖	+	−	+	+	+	+
海藻糖	+	−	+	+	+	+
肌醇	+	−	+	+	+	+

考虑到白鱀豚是一种稀珍动物，用抗菌素来治疗该病较为合适。因此在药物筛选上，均以抗菌素为对象，结果表明（表 7-5）：四环素族的四环素、氯霉素、土霉素和金霉素等广谱抗菌素，对此菌有较强的抑制能力。其中以金霉素最佳，在每毫升水中含有 0.05μg 的金霉素，就能抑制这种病菌生长。

表 7-5　试管中抗菌素等药物抑制 W81-11 菌试验（引自徐伯亥等，1985）

Table 7-5　The test of antibiotics and other medicines inhibiting W81-11 strain in test bube

浓度（单位）	500	250	125	100	62.5	50	31.25	25	15.625	12.5	10	6.25	3.12	1.98	1.56	0.99	0.78	0.39	0.19	0.10	0.05	0.025
新生霉素 Novobiocinum	* +	+	+	+	+																	
青霉素 Penicillinum	+	+	+	+	+																	
红霉素 Erythromycinum	-	-	-	+	+																	
四环素 Tetracylinum	-	-	-	-	-	-	-				-	-	-	-	-	-		-	+			
氯霉素 Chloromycetinum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+									
强力霉素 Doxycyclinum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+		
卡那霉素 Kanamycinum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+									
链霉素 Streptomycinum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+										
土霉素 Terramycinum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+				
金霉素 Aureomycinum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
合霉素 Syntomycinum	-	-	-	-		-	-	-	-	-	+											
呋喃唑酮 Furazolidone	+	+	+	+																		

"+"生长；"-"未生长。

16 年来的白鱀豚饲养实践表明，尽管豚体外观完整无伤，但在运输或捕起治疗的操作过程中，难免将皮肤轻微擦伤，不易察觉。为此每次捕起体检或者治病完毕，均用 0.1%孔雀石绿溶液涂擦全身预防，并在养殖池水中按 400×10^{-6}的浓度加放食盐数次，每天口服维生素 E，收到了较好的预防效果。

发病时，豚体表面会长出圆形病灶，特别是溃烂面尤为严重。此时用 4%食盐溶液和 4%小苏打溶液消毒清洗后，擦上孔雀石绿，过 30mim 或更长一些时间后，再涂红霉素软膏后下水，均得到了满意的治疗效果。

3. 内科疾病的预防和治疗

豚类动物终身生活于水中，它们的生活环境都是海洋或大型河流，水域广阔，具有很大的活动余地和良好的生活环境。当它们从野生环境转入人工环境，由于活动空间的大大缩小，食料、水质和细菌感染等各种因素的影响，极易感染疾病，因而死亡率很高。体表

外伤除特别严重的致命外伤以外，一般不是重要的致死因素，而内科许多疾病，由于诊断和治疗的困难，一直是世界养豚事业中最严重的问题。1980 年以来，我们先后饲养过 4 头活体白鳘豚，其中 1 头雄性白鳘豚已成功饲养了 16 年。在此期间，我们经常遇到一些常见的内科疾病，积累了宝贵的防治经验（刘仁俊等，1989、1994；Liu *et al*. 1992；Liu Renjun, 1993）。

（1）内科疾病的预防　　豚类动物对饲养条件，如食料、水质和环境的要求很高，稍不注意，很容易得病，因此，疾病的预防工作是饲养成败的关键。

1）食料鱼的选择：俗话说"病从口入"，因此选择新鲜无病源、无污染的食料鱼是保证白鳘豚健康的重要环节。12 年来，我们全部选择新鲜无病的活体淡水鱼作为白鳘豚的饲料鱼，大部分鱼均由自己无污染的鱼池饲养供应，一部分购自无污染的鱼场。一般每年冬季准备好第二年的全部饲料鱼，在自己鱼池内暂养，这样一方面防止夏季天热时购进的鱼不能保证新鲜，另一方面外面购进的鱼即使有些污染，经自己鱼池饲养数日，亦能达到净化的目的。

国外饲养海豚的食料鱼一般采用快速冷冻的冰鱼，这样可达到杀死鱼体内寄生虫的目的。从我们解剖白鳘豚标本的情况来看，还没有发现有寄生虫感染，这样喂以活体新鲜的淡水鱼，营养价值会比冰冻鱼要好。

2）食料鱼的质量控制：由于豚类动物是恒温动物，它主要靠调节皮下脂肪的厚度调节体温，冬天背部皮下脂肪的厚度可达 4cm 以上，夏天一般仅有 1—2cm，便于它通过皮肤散发体内的热量。我们饲养的白鳘豚"容容"，由于消化系统的疾病尚未康复，因此皮下脂肪积累不起来，所以冬天突然寒潮袭来，无法抵御，而被冻死。死后解剖，皮下脂肪仅有 1cm 厚，所以我们一般到 9 月份以后即要投喂营养价值较高的鱼，如鲤、鲫和草鱼等，而且食量亦相应增加，幼豚可加到体重的 12%，现在成年的"淇淇"，冬天亦达到 8%，而在夏天幼豚为 8%—9%，并仅喂鲢、鳙，成年豚为 6%。豚体过胖，难以适应武汉酷热的夏季，过瘦不能安全过冬，因此控制鱼品质量和食量是保持豚健康的很重要的措施。

3）营养药物的补充：豚类动物在人工环境相对于自然环境来说，食料较单纯，因而不可避免地会缺乏有机体正常代谢所必需的多种维生素及微量元素，从而引起一系列慢性缺乏性疾病，为此必须喂以维生素 B 等药物（刘仁俊、林克杰，1982）。现在随着营养药物的发展，改喂：

维生素 C（Vitamin C）　　200mg/d；

维生素 E（Vitamin E）　　200mg/d；

施尔康片（中美上海施贵宝制药有限公司）　　2 片/d。

施尔康片（Therogrom-m）为最近推出的含有多种维生素和微量元素的复合营养药，经我们试用，效果很好，对预防上述缺乏症疗效明显。

4）水质：保持水质清洁是防病的关键措施之一。国外豚池采用循环过滤水的办法保持水质始终清新，这样一般很少发生常见的腐皮病，同时亦有效地防止内科疾病的发生。每天循环的次数视豚池容量而不同。我们原来的豚池由于无滤水系统，只能经常换水清洗，保持水质的相对清洁，现在新建的白鳘豚馆有设备齐全的滤水系统，饲养水质得到很大的改善。

另外，豚池水中必须严防异物投入。豚往往因吞食异物，充塞胃中无法消化排出造成

阻塞性胃炎而致死。上海西郊动物园饲养的江豚,因吞食大量汽水瓶盖而致死。我们饲养过的江豚因吞食大量草根,树叶乃至树枝而致死,白鳘豚"珍珍"吞食大量从棚架上掉入池中的铁屑亦加速了它病情的发展。

5）坚持体检：12 年来,我们坚持对白鳘豚每月体检 1 次,测定各项血液指标,心电图,以及治疗各种体表疾病,发现不正常,及时治疗,收到很好的防病效果。

6）坚持行为观察和记录：每天详细记录豚的摄食量和摄食情况,经常观察记录豚的各种行为表现,建立正常和非正常的行为模式,亦是防病的重要措施之一。

（2）内科疾病的临床诊断　白鳘豚生活在水中,不像人和陆生哺乳动物的内科疾病较易诊断,加上它有很厚的皮下脂肪,有些病理指标难以测出,从而造成内科疾病诊断的困难。经过 16 年的探索,也积累了不少经验（刘仁俊等,1987;陈道权等,1985;陈道权等,1987)。

1）行为：通过 16 年来对白鳘豚的行为生物学研究,证明在正常情况下白鳘豚有明显的行为节律和一定的行为模式(刘仁俊等,1987)。一旦有内科疾病,首先从行为上有明显的反映,因此坚持进行日常的行为观察,对豚类动物的宏观行为和微观行为有清楚的了解,是对白鳘豚内科疾病诊断的重要依据。

白鳘豚身体不适,最敏感的是在摄食行为上得到反映。一旦身体不适,它的食量明显减少,对鱼不感兴趣,偶尔吃几条亦时咬时丢,甚至完全停食,这就需要认真分析原因,进一步检查血液有关指标,及时采取措施。

例如,白鳘豚"淇淇"获于 1980 年元月 12 日,到元月 22 日,它停食,体色由灰白变为灰黑色,身体失去平衡;潜水困难,只能漂浮在水面无力地游动;呼吸短促,平均 4—6 次/min(正常为 3 次/min 左右),有时连续在水面停留呼吸。

又如"联联",病重时不但少食或停食,而且定位功能失灵,经常游到池壁附近浅水区,甚至直冲池壁,以致吻端碰伤出血,出水呼吸困难,需要别的豚帮助托起身体出水呼吸。

2）生理生化指标：豚类动物的生理生化指标是诊断内科疾病的主要依据（陈道权等,1985;陈道权等,1987)。

血液常规检查：白鳘豚血液常规值如下：嗜中性粒细胞 50%—60%;淋巴细胞 25%—30%;嗜酸性粒细胞 10%—20%;单核细胞 2%—3%,白细胞计数 5 000—6 000 个/mm^3;红细胞计数 350 万/mm^3 左右,Hb% 为 11g 左右,Pcv 40 左右,高于和低于正常值,在临床诊断上都有重要意义。

例如,白鳘豚"淇淇"在急性化脓性感染时,嗜中性粒细胞超过 70%,甚至高达 80% 以上;淋巴细胞下降到 20%左右;嗜酸性粒细胞下降到 3%—7%。说明"淇淇"炎症反应严重(此时伤口严重化脓)。白鳘豚"联联"病重时白细胞计数达 12 950 个/mm^3,中性粒细胞为 78%,淋巴细胞下降到 9%。说明"联联"炎症严重。

血液生化指标：白鳘豚血液生化指标正常值如下：总蛋白 6.6g/100ml,白蛋白 3.45g/100ml,球蛋白 3.2g/100ml,尿素氮 54.5mg/100ml,碱性磷酸酶(AKP)13.29 金氏单位,谷氨酸丙酮酸转氨酶(GPT)20.77 金氏单位,谷氨酸草酰乙酸转氨酶(GOT)78.67 金氏单位,胆红素定量 0.138mg/100ml,酯化胆固醇 148.56mg/100ml,总胆固醇 195.15mg/100ml,尿酸 0.95mg/100ml。和人相似,各种生化指标的不正常都是豚的病理

现象的表现。

(3) 病例分析　16 年来，我们在养殖实践中曾遇到一些病例，现分析如下：

1) 消化系统疾病：豚活动迟缓，食欲不好，严重时停食。镜检大便中食物残渣的颗粒增大。

这里有两种情况，一种是大便硬结，成团成块的大便沉于池底，久久不溶散，这表示消化不良。另一种情况是排出的大便很稀，油性重，漂浮在水面很久不散，这种情况是肠道发炎等疾病造成。

2) 暑热症：在夏季气温水温过高时，豚常在水表层作漂浮性游动，呼吸浅表，呼吸频率超过正常范围，达 6 次/min 以上；食欲不好。放水冲洗时，豚立即到水流处翻动身体冲凉。暑热严重时，体表皮下常出现许多黑色皮下出血斑点，血液指标和大便无明显异常。

3) 肝炎：活动无力；食欲不振，最后停食，呕吐；口腔粘膜和角膜变黄。我们见到一病例"联联"，除上述病症外，其 GPT 高达 107.6 金氏单位，GOT 高达 171.51 金氏单位，总胆红素达 6mg/100ml。解剖结果证实肝脏组织大量出血坏死。

4) 肺炎：白鳖豚"珍珍"于 1989 年 9 月患间质性肺炎死亡（刘仁俊等，1989）。具体情况如下：

1989 年 9 月 17 日之前，"珍珍"摄食一直正常，每餐进食鲢 2.5kg 左右。9 月 18 日开始，早晨虽然亦吃了 2.25kg，但较勉强。中午吃了 1.75kg，晚上摄食较好。从 9 月 19 日开始到 21 日，食欲大减，每餐仅吃 2—4 尾（每尾约 0.25—0.5kg），到 9 月 22 日完全停止摄食。9 月 24 日起水检查，并强迫进食 2.5kg。25 日强迫进食 2.5kg，26 日强迫进食 3kg。9 月 24 日以前，行为活动无明显异常，以后则越来越显得无力，但尚能正常游泳和活动。9 月 26 日显得呼吸加快，常躺在池底休息。

体检情况如下：

37℃与以前正常体温 36—36.5℃相比偏高，但与"淇淇"1980 年病重时的体温达到 39.5℃相比，不算太高。

血液：9 月 24 日抽血检查了血液的有形成分（表 7-6）及生化指标（表 7-7），同时对健康雄豚"淇淇"作了同样的化验作为对照。这次化验结果与历年来白鳖豚各项血液指标作了比较，并与"珍珍"本身两年半来的体检结果作了比较。

表 7-6　白鳖豚"珍珍"血液有形成分比较（1986.4 至 1988.9）

Table 7-6　Blood Counts in *Lipotes vexillifer* "Zhen Zhen"

日期 Date	Hb (g/100mm)	WBC (g/mm³)	RBC (10⁴/mm³)	E (%)	N (%)	B (%)	L (%)	M (%)	ER (%)
最高值 Maximum	11.5	10812.5	418	20.33	66.4	0	37.2	7.0	5.5
最低值 Minimum	9.5	5100	231	4.6	40.34	0	22	1.6	0.2
平均值 Mean	10.8	7436.5	270	13.5	49.3	0	31.2	3.0	2.7
测定次数 Measure No.	10	10	9	16	16		16	16	16
1988.9.24	12.8	5150	334	8.8	46.7	0	37.5	6.1	0.9

表 7-7 白鳖豚"珍珍" 血液生化指标比较

Table 7-7 Comparison of blood biochemistry in *Lipotes vexillifer* "Zhen Zhen"

	葡萄糖 (Glu)	尿素氮 (BUN)	总胆固醇 (T.chol.)	碱性磷酸酶 (AKP)	谷丙转氨酶 (GPT)	白蛋白 (A)	球蛋白 (G)	谷草转氨酶 (GOT)	胆红素 (Bil)
平均值 Mean	104.17	58.53	186.68	15.0	19.95	2.71	3.8	77.17	
before 24 Sep.1988	86.0	35.4	197.2	9.2	35.3	4.86	2.14	61.0	0.50

AKP,GOT: King-unit; Glu, Total chol, Bil, BUN: (mg/100ml); A G: (g/100ml)。

从比较结果来看,除 GPT 较高以外,其他各项指标并无明显的异常变化,至于血液中葡萄糖含量明显偏低,可能是由于几天来停食所致。与"淇淇" 的各项指标相比,亦无明显异常变化。

大便: 1989 年 9 月 25 日发现池底有大量硬度较大的大便沉于池底,经用开塞露注入肛门后,先有带血丝的大便排出,继有大量软大便排出,硬大便化验结果除潜血试验"++"以外,未发现有脓细胞等,软大便不带血。

心电图: 心率 115 次/min,P 波时间: 0.08s,直立;P-R 间期: 0.20s;QRS 时间: 0.06s,ST 段: 无偏移,Q-T 间期: 0.28s,QRS 波群: 呈 qR 型;T 波时间: 0.06s,倒置。与以前历次测定结果相比,除心率快 10 次左右以外,其他正常(刘仁俊等,1992)。此外,体表无损伤,呼气未发现有臭味,仅口中有臭味。

根据以上体检结果,虽无明显的大叶性或小叶性肺炎临床症状,但由于体温偏高,心率稍快,白细胞总数偏低等,估计有炎症。

9月 27 日经治疗无效死亡后进行了解剖,结果如下: 左肺重 1.13kg,右肺重 1.31kg,颜色异样鲜红,明显肿胀,未发现结节病灶,表面欠光滑,切开即有血红色粘稠液体流出,并伴有气泡,取直径 2.3mm 小块组织放入水中即沉于水底。心脏表面无异常,沿血流方向切开心脏,眼观正常。

显微切片表现,浆膜大大加厚,充满大量炎性渗出物,肺间质明显加厚,充斥大量炎性细胞、红血球、淋巴细胞和单核细胞。肺泡结构完整,并未发现破裂现象,但绝大部分肺泡成圆形,许多肺泡内充满粘稠的炎性渗出物,肺泡壁上皮细胞由扁平细胞变成立方细胞,许多肺泡内虽然没有充满红血球,但肺泡上皮周围被一层透明的膜状物包围。

从病理切片情况看,呈典型的间质性肺炎的病理变化,随着病情的发展,使整个肺呼吸功能大减,直至最后完全失去呼吸功能而坏死。这种病临床表现可以不发生高烧,血相变化不大等情况。因此亦造成了诊断和治疗上的困难。

5) 其他炎症: 除皮肤感染、外伤发炎等会使血液常规值发生变化外,亦经常遇到由于内科疾病引起嗜中性粒细胞升高,白细胞数量减少和核左移等情况,这预示着体内脏器有炎症,应及早采取措施。

(4) 几种内科疾病的治疗

1) 炎症治疗: "淇淇" 刚来不久,伤口化脓,血液中性粒细胞达 70%以上,体温 39℃左右,行为失常。我们每天注射 40 万单位青霉素(Penicillin)2 次;链霉素(Streptomycini Sulfas)40 万单位 1 天 1 次;口服内舒磺(Probenecidum)0.5g,1 天 2 次;长效磺胺(SMP) 0.5g,每天 1 次,脱离危险期以后则每星期 1 次注射 120 万单位长效青霉素(Penicillinum

G. Ben zathinicum)和 50 万单位链霉素，并口服长效磺胺，经 1 个月治疗，炎症基本控制。

平时遇到血液检查有炎症表现，即使豚行为正常，我们亦及早给豚服用麦迪霉素(Medemycin)或螺旋霉素(Spiramycin)等消炎药物，用量与人的体重相比相应增加。

2) 消化不良的治疗：在我们的饲养实践中，经常遇到豚食欲不好。当然食欲不好由多种原因引起。当血液指标检查正常时，亦会发生食欲不好的情况，特别是天气骤变，夏季酷热或吃了不新鲜的鱼以后会经常发生，治疗方法是除改善饮食卫生外，主要喂以酵母片，每次 8—10 颗，多酶片每次 4 颗，每天 3 次，都取得了良好的效果。

这里需要特别指出的是当豚刚从自然环境来到人工环境，或病重时，往往饮食不好或停食，如 3 天以上不吃食，对豚是非常危险的，因为豚虽然生活于水中，但主要从食物中获得身体所必需的水分，如长期停食，会使身体严重失水，体表出现皮肤松弛起皱，无光泽，体重急剧下降，危及生命。此时应采取强迫进食的办法。开始可用手指轻压豚的嘴角，此时豚会张开嘴，立即送入适口的新鲜鱼，豚会自动吞咽。情况严重时，不能自动吞咽，此时 2 人分别按住豚体和尾部，另用 2 条毛巾裹以橡皮管塞入豚口，1 人握住 1 条毛巾，把上颌往上拉，另 1 人用另 1 条毛巾压住下颌，使豚嘴强迫张开，喂食者戴上医用手术塑料手套，拿鱼使其头向着豚的喉部，把鱼塞入豚口，从舌上部向喉塞进，以使鱼的前半部塞过豚的舌根为度，然后迅速退出手，毛巾迅速松开，豚嘴合拢，豚便能顺利把鱼吞进，食量以豚平时摄食量为度。

3) 暑热症的治疗：1987 年以前，由于武汉夏季酷热，水温常常高达 28—33℃，使豚体主要散热途径发生困难而出现上述暑热症状。1988 年以后，每到酷热季节，我们及早喂中成药藿香正气丸(每餐 2 瓶，1 日 3 次)，仁丹及十滴水，其中藿香正气丸消暑解热的效果最好，都使豚安全度过了夏天，没有发生厌食或停食的情况。

4) 肺炎的治疗：鲸类动物在捕捉、运输和饲养过程中，较易感染肺炎，而且病情发展很快，死亡率高，治疗药物一般采用氨苄青霉素(Ampicillin)，氨基菲林，地赛米松，先锋霉素，三甲氧苄二氨密啶——磺胺等药类，视病情选用。

5) 肠炎的治疗：当发现豚拉稀甚至大便带有血丝时，喂以呋喃唑酮，氯霉素或土霉素等消炎药外，以服用大蒜素胶丸效果好，或肌肉注射庆大霉素 16 万单位/日 2 次。

6) 肝炎的治疗：当从血液生化指标发现肝功能不正常时，应视情况喂药，用药同人治肝炎的药物，另一方面要喂底层鱼类，加强营养，并保持环境安静，让豚安静休息养病。

总之，鲸类动物的内科疾病，特别是肺炎和肝炎，不易诊断和治疗，加上肺炎和肝炎发病快，所以至今还是世界上正在研究的课题，尽管已经取得了很大的进展，但治愈率还很低，所以应从各个环节，包括豚池条件、水质、食物卫生和周围环境等各个方面确立预防为主的思想，这是防止豚发生内科疾病的关键。例如，香港海洋公园在初期就有过惨痛的教训，每当暴风雨以后，都会有海豚死亡，主要原因是地表水带入病源菌引起，经鉴定为丹毒杆菌病，后来，他们筛选出一种弱毒疫苗，经预防注射后情况有了很大的好转。又如美国芝加哥布鲁克菲尔特(Brookfield)动物园一头饲养了 10 多年的海豚患肺炎，经多方治疗，虽然延续了半年多的生命，最终还是因治疗无效而死亡。其他许多地方亦经常发生因肺炎，肝炎死亡的病例。所以要从各个环节注意预防。例如，捕豚时要防止豚呛水；运输时要采取安全措施防止疾病感染，给豚皮肤洒水时不要把水洒入鼻孔；豚起水体检时要在避风处进行；食料鱼要严格消毒，保证新鲜无污染，严禁在豚池内丢入杂物，保护周围环境清

洁,病人不要与豚接触等,同时要密切注意豚的行为变化,定期体检,及早发现并采取措施。

五、水质规范

白鱀豚终身生活于水中,清洁的水质是人工饲养条件下白鱀豚生存的必要条件。以人工饲养的"淇淇"为例,每天摄食近10kg,因而有大量尿和屎排出,必然污染水质,引起大量细菌和藻类繁衍,加上地面污物带来池水的污染,因此如何保持水质清洁就是一个非常重要的问题(官之梅等,1987;王克雄等,1990)。

豚类饲养池水一般采用独立的滤水系统进行循环过滤,循环次数按池子水量计算,目前我们建设的新白鱀豚馆就是如此。在新豚馆尚未建起以前,用自来水源,冬天每隔1周换水1次,夏天隔3—4天换1次水,每隔2—4周彻底清池1次,即将豚池的水全部抽掉,洗刷池壁和池底,清除藻类和豚的粪便,经1981—1985年进行水质理化因子的测定,包括水温、pH值,总碱度、总硬度、溶解氧、余氯、氯化物、耗氧量、总铁、氨氮和亚硝酸盐氮,以及大肠菌群数。

豚池水质条件如表7-8所示。

表7-8 白鱀豚饲养池的水质条件

Table 7-8 Quality condition for water in the rearing pond of *Lipotes vexillifer*

测定项目 Test Items	均值和标准差 Mean and S.D.	波动范围 Fluctuation range	容许范围 Acceptable range
水温(℃) Water temperature		2—33	5—30
pH值 Value	7.5±0.49	6.5—8.6	6.5—8.6
总碱度(mg/L) Alkalinity(as $CaCO_3$)	69.50±9.24	48—118	20—400
总硬度(mg/L) Hardness(as $CaCO_3$)	98.57±13.84	75.0—139.3	50—150
溶解氧(mg/L) Dissolved oxygen(as O_2)	8.93±4.48	6.0—11.9	>5
余氯(mg/L) Residual chlorine(as Cl)	0.08±0.06	0.05—0.30	0.05—0.30
氯化物(mg/L) Chloride(as Cl)	20.41±3.11	13—26	<910
耗氧量(mg/L) Oxygen consumption(as O_2)	3.69±2.32	1.70—5.16	<6
总铁(mg/L) Total iron(as Fe)	0.079±0.037	0.02—0.14	<0.3
氨氮(mg/L) Ammoniacal nitrogen(as N)	0.229±0.263	0.012—0.80	<0.3
亚硝酸盐氮(mg/L) Nitrite nitrogen(as N)	0.094±0.114	0.001—0.56	<0.1
大肠菌群总数 (Colonies/100ml)Total coliform	1176±1665	230—4500	<450

1. 水温

白鳖豚饲养池水温周年变化幅度一般为4—31℃,个别情况,短时间内可低至2℃,高至33℃,水温低于4—5℃时,白鳖豚游泳迟缓,高于30℃时则会引起一系列热压力反应。如食欲不振、烦燥不安,重则使皮肤出现紫色斑点。

长江干流区最冷为1月份,最热为7、8月份。汉口江段1月份平均水温为5.7℃,8月份为27—28℃,但长江中的白鳖豚可以选择临时栖息水区来缓和高、低温所造成的不适。因此,对豚池水温进行适当的控制是必要的。根据长江生态考察和我们饲养白鳖豚的实践,白鳖豚合适的饲养水温为15—25℃。

2. pH 值

池水一般呈微碱性,多数情况pH值在7.2—7.8之间。这与池水总碱度稳定有关。但pH值是水体化学和生物学系统中的重要因素,pH值的迅速增加可引起氨的毒性的增加,因此不可忽视pH值的变化。

3. 总碱度和总硬度

豚池水的总碱度和硬度变动不大,是较稳定的理化因子之一。对鱼类的养殖用水适宜的总硬度在50—150mg$CaCO_3$/L。豚池总硬度的波动在其范围之内,这对豚类的养殖不存在问题。保持池水一定的碱度可以缓冲pH值的变化,又可降低某些重金属离子的毒性,据美国豚池的水质标准,总碱度的最高、最低阈分别为400和20mg/L。我们所测豚池总碱度和总硬度是符合要求的。

4. 溶解氧

池水的溶氧量是水体维持生态平衡能力的重要标志。它随温度的降低而增加,随换水时间的延长而逐渐下降(表7-9)。

表7-9 不同温度组在一个换水周期中溶解氧和亚硝酸盐氮的波动范围

Table 7-9 Fluctuation ranges of dissolved oxygen and nitrite nitrogen in a cycle of water renewal

水温(℃) Water temperature	21—28	15—20	11—14	8—10
溶解氧(mg/L) Dissolved oxygen	7.9—6.4	9.6—7.5		11.4-9.2
亚硝酸盐氮(mg/L) Nitrite nitrogen	0.028—0.0560	0.010—0.400	0.002—0.026	0.007-0.240

5. 余氯

自来水中总余氯的含量一般不低于0.1mg/L,水注入豚池以后,大面积曝气使得其在1—2天内降至最低水平(图7-5,7-6)。可以认为0.05mgCl/L是豚池中结合态氯的含量水平。

水中游离态和结合态氯对豚均有刺激和毒害作用。一般认为前者的杀菌效率高于后

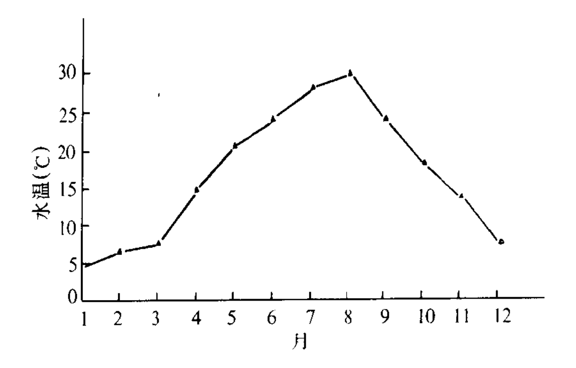


图 7-5 1 号池月平均水温周年变化(1985)
Fig. 7-5 Monthly mean water temperature in the pool No. 1 (1985)

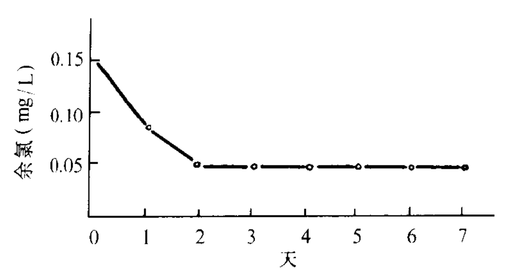


图 7-6 1 号池水中余氯变化曲线
(1986 年 4 月 13—20 日,16.0℃)
Fig. 7-6 The changes of residual chlorine in the pool No. 1 (Apr. 13—20, 1986. 16.0℃)

者,但是对豚类动物而言,游离态氯的刺激作用在一定程度上小于结合态氯。池水中氯胺类物质的增加会刺激动物的眼睛和皮肤。Andersen 曾观察到生活在 $0.1—0.2\times10^{-6}$游离余氯池水中的鼠海豚只在开始的一个月内出现“皮肤反应”。Dudok 将两头海豚放入一游离态氯水平为 30×10^{-6},结合态氯为零的新豚池中,亦未见其有闭合眼睛、皮肤脱皮等负反应。豚池水处理系统中,在絮凝、过滤之后再施以氯气消毒,水中游离氯在短时间内可以达到很高浓度,其杀菌消毒的效果明显,同时,还可以减少池水消毒过程中出现的氯胺类物质。香港海洋公园规定,哺乳动物池水中结合态氯的水平为 $1.0—1.5\times10^{-6}$。Andersen 认为,室内池水中的结合态氯的含量应保持在 4.0×10^{-6}的水平,宽吻海豚在这样的水中可生活多年。

白鱀豚池中游离态和结合态氯的含量都很低,对豚无明显的毒害作用。

6. 氯化物

豚池氯化物的污染源主要是白鱀豚所排的尿。在水量较大,只养一头豚的情况下,少量污染对水体的氯化物含量无显著影响。饮用水氯化物的允许范围为 2—100mg/L,只在高达 4 000mg/L 左右才对人体有害。美国于 1968 年颁布的渔业水质标准为≤910mg/L。因此氯化物含量本身不能作为水污染的标志,仅供分析池水的耗氧量时作参考。

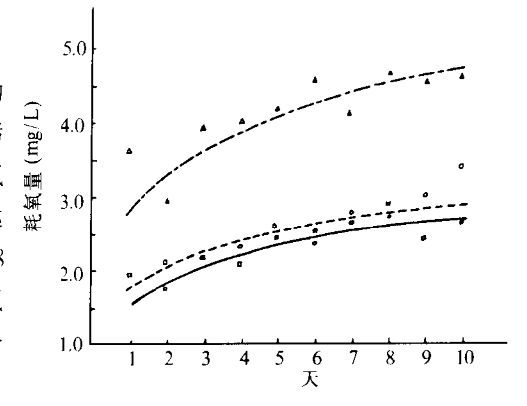


图 7-7 1 号池有机物耗氧量的变化曲线
Fig. 7-7 The changes of oxygen consumption of organic matter in the pool No. 1
△—·—·—·—·—6.6±0.31℃;○——17.9±1.8℃;□········24.4±2.1℃。

7. 有机物耗氧量

豚池中有机物的主要来源是动物排出的粪便和随食物进入水体的鱼鳞、粘液等。自来水中的有机物耗氧量一般低于 2.0—3.0mgO_2/L,换水 10 天后,亦不过增加至 3.0—4.0mg O_2/L。图 7-7 是不同温度条件下白鱀豚“淇淇”饲养池水中有机物耗氧量的变化曲线。

它们的回归方程分别为:

水温 6.6 ±0.31℃时

$$C = 2.7740t^{0.2370} \quad (n = 9, R = 0.884) \tag{7-1}$$

水温 17.9±1.8℃时

$$C = 1.5861t^{0.2396} \quad (n = 9, R = 0.864) \tag{7-2}$$

水温 24.4±2.1℃时

$$C = 1.7682t^{0.2193} \quad (n = 10, R = 0.891) \tag{7-3}$$

比较回归方程(2)和(3),得

$t_b = 0.3053 < t_{0.1(15)} = 1.75$

$t_a = 1.3217 < t_{0.1(15)}$。

两回归式的回归系数和常数项均无显著差异,用同样的方法比较了式(7-1),(7-3)和(7-1)、(7-2),它们的回归系数彼此间均无显著差异。据此可以认为,在以上 3 种不同的温度下,池水有机物耗氧量的含量变化的时间指数是相近的。通过加权法求得共同的 b 值为 0.2285,即在一定温度范围内,池水有机物耗氧量的含量变化的时间指数是相对稳定的,约为 0.2285。

8. 总铁

铁是水污染的杂质之一,含量少时对豚体无害。白鳖豚所生活的天然环境长江水含铁为 0.3mg/L 左右。我国饮用水规定≤0.3mg/L。白鳖豚饲养池水中含铁量为<0.15mg/L。

9. 无机氮化合物

无机氮化合物在不同温度的测定值见表 7-10,水停留时间和其含量的相关曲线见图 7-6,7-8,7-9,7-10。

它们的回归方程分别为:

NH_4^+—N

水温 10.4 ±0.97℃时

$$C = 0.05704_e^{0.3009t} \quad (n = 9, R = 0.925) \tag{7-4}$$

水温 17.9±1.9℃时

$$C = 0.03590_e^{0.3192t} \quad (n = 9, R = 0.827) \tag{7-5}$$

水温 27.7±0.76℃时

$$C = 0.01684_e^{0.3590t} \quad (n = 10, R = 0.966) \tag{7-6}$$

NO_2^-—N

水温 10.4±2.1℃时

$$C = 0.00406_e^{0.3971t} \quad (n = 9, R = 0.977) \tag{7-7}$$

水温 17.9±1.9℃时

$$C = 0.00270_e^{0.4613t} \quad (n = 10, R = 0.787) \tag{7-8}$$

水温 27.7±0.76℃时

$$C = 0.00103_e^{0.5387t} \quad (n = 10, R = 0.969) \tag{7-9}$$

NO_3^-—N

表 7-10　1 号池某些化学因子的变化概况

Table 7-10　Variations of some chemical factors in pool No.1

项目 Item	注水日期 Date of water-filling	水温 Water temperature (mean ± S.D., ℃)	水停留时间和实验结果(mg/L) water retention period(day) and chemical determinations (mg/L)										池中动物数量 Number of animal in pool
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
耗氧量(mg/L) Oxygen consumption	Dec. 23,1986	6.6±0.31	—	2.95	3.92	4.00	4.14	4.57	4.09	4.63	4.63	4.55	2*
	Apr. 25,1986	17.9±1.8	—	1.75	2.08	2.28	2.57	2.36	2.69	2.73	2.40	2.67	1
	May. 29,1986	24.4+2.1	1.96	2.04	2.19	2.03	2.41	2.48	2.62	2.84	2.98	3.38	1
NH_4^+—N	Mar. 14,1986	10.4±0.97	0.078	0.084	0.095	0.290	—	0.515	0.555	0.568	0.821	0.910	1
	Apr. 25,1986	17.9+1.9	—	0.040	0.068	0.185	0.313	0.347	0.370	0.438	0.537	0.635	1
	Jul. 26,1986	27.7±0.76	0.052	0.027	0.038	0.046	0.067	0.140	0.289	0.395	0.474	0.553	1
NO_2—N	Mar. 14,1986	10.4±2.1	0.0036	0.0074	0.0230	0.0300	—	0.0528	0.0580	0.0780	0.1540	0.1880	1
	Apr. 25,1986	17.9±1.9	0.0017	0.0068	0.0148	0.260	0.0456	0.0514	0.0796	0.1060	0.1440	0.1700	1
	Jul. 26,1986	27.7±0.76	0.0019	0.0024	0.0041	0.0155	0.0156	0.0307	0.0494	0.0864	0.1240	0.1820	1
NO_3^-—N	Dec. 23, 1986	6.6±0.31	0.151	0.237	0.302	0.403	0.448	0.578	0.602	0.773	0.781	0.927	2*
	Sep. 22,1986	19.1±0.93	0.096	0.169	0.208	0.404	0.510	0.714	0.830	0.972	1.11	1.32	2*
	Jul. 26,1986	27.7+0.76	0.054	0.075	0.103	0.116	0.204	0.261	0.316	0.429	0.487	0.528	1
PO_4^{3-}	Dec. 23,1986	6.6±0.31	0.663	1.47	2.17	3.02	3.11	3.72	4.66	5.08	5.36	5.59	2*
	Sep. 22,1986	19.1+0.93	0.586	0.802	1.28	1.72	2.19	2.85	2.87	3.11	3.70	3.91	2*
	Jul. 26,1986	27.7±0.76	0.146	0.335	0.597	0.756	1.03	1.25	1.32	1.76	1.76	2.07	1

*实验后期 2 号池中的一头豚迁入 1 号池。

The dolphin in pool No. 2 was moved into the pool No. 1 at the late stage of experiment.

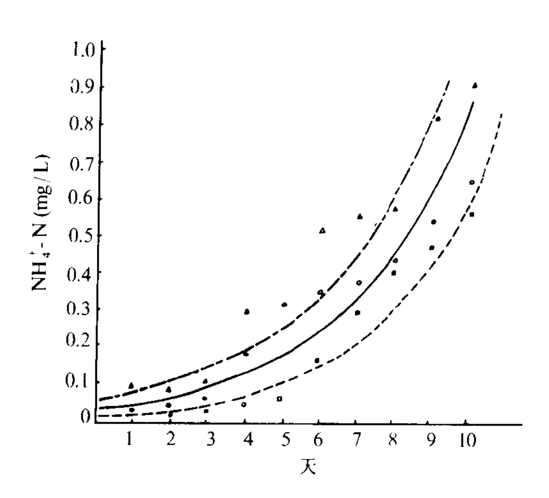


图 7-8 1 号池 NH_4^+—N 含量的变化曲线

Fig. 7-8 The changes of the contents of NH_4^+ – N in the pool No.1

△—·—·—·—10.4±0.97℃；○——17.9±1.9℃；□……27.7±0.76℃。

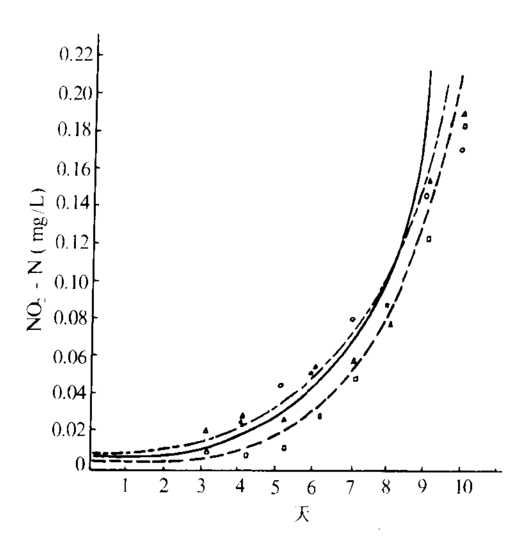


图 7-9 1 号池 NO_2^- —N 含量的变化曲线

Fig. 7-9 The changes of the contents of NO_2^- – N in the pool No.1

△—·—·—·—·10.4±2.1℃；○——17.9±1.9℃；□……27.7±0.76℃。

水温 6.6±0.31℃时

$$C = 0.1627_e^{0.1869t} \quad (n = 10, R = 0.961) \qquad (7\text{-}10)$$

水温 19.1±0.93℃时

$$C = 0.0992_e^{0.2847t} \quad (n = 10, R = 0.922) \qquad (7\text{-}11)$$

水温 27.7±0.76℃时

$$C = 0.04578_e^{0.2660t} \quad (n = 10, R = 0.940) \qquad (7\text{-}12)$$

比较回归式(7-4)，(7-6)得：

$$t_b = 1.0431 < t_{0.1(15)}, \qquad t_a = 4.4721 > t_{0.1(15)}$$

这说明(7-4)和(7-6)的回归系数无显著差异，而常数项差异显著。用同样的方法对式(7-4)和(7-5)及(7-5)和(7-6)进行了比较，发现它们的回归系数彼此间均无显著差异，用加权法求得共同的回归系数为 0.3271。因此认为池水中铵氮的日增系数平均为 0.3271。

比较回归式(7-7)和(7-9)，得：

$$t_b = 3.240 > t_{0.1(15)}, \quad t_a = 6.043 > t_{0.1(15)}$$

用同样的方法对式(7-7)和(7-8)及(7-8)和(7-9)作了比较，它们的回归系数彼此间无显著差异。但是(7-7)和(7-9)的回归系数有显著差异。据此可以认为，温度对池水中亚硝酸盐氮的含量水平是有较大程度影响的。

用同样的方法对回归式(7-10)、(7-11)和(7-12)进行相互比较，发现它们的回归系数灵敏彼此间均无显著差异，用加权法求得它们的共同回归系数为 0.2468。可以认为，当动物数量一定时，水体的硝酸盐氮的日增加系数是相近的，平均约为 0.2468。

白鳖豚专以蛋白质含量很高的鱼类为食，其排泄物中尿素、尿酸的成分较高，这是豚池水中铵氮含量增高较快的原因之一，另是豚池有荫棚，终年缺少阳光照射，水中浮游植

物的光合作用较弱，对铵氮的消耗较少。池水溶氧充足（高于 5.0mg/L），生物脱氮作用不显著，加之大多数藻类优先利用铵氮，所以硝酸盐氮出现积累，水体中氮循环缓慢，造成亚硝酸盐氮积累。从表 7-11 所示的实践结果可进一步得到说明。

表 7-11　有棚池（1 号池）和无棚池（2 号池）对照实验结果

Table 7-11　Comparison of N-contents in the shaded-pool and the exposed pool

项目 Item	池号 No. of pool	水贮存时间（天）和实验结果（mg/L） Water retention period(day) and N-contents(mg/L)				
		1	2	4	6	7
NH_4^+—N	1	0.052	0.027	0.046	0.14	0.29
	2	0.046	0.030	0.046	0.061	0.036
NO_2^-—N	1	0.0019	0.0024	0.012	0.031	0.049
	2	0.0036	0.0036	0.006	0.038	0.0034
NO_3^-—N	1	0.055	0.075	0.12	0.26	0.32
	2	0.052	0.043	0.023	0.039	0.044

1 号池水温为 27.7±0.75℃，2 号池水温为 29.1±0.51℃。

Water temperature in pool No.1：27.7±0.76℃ Water temperature in pool No.2 ：29.1±0.51℃。

高含量的亚硝酸盐和铵（氨）对动物有毒害作用。香港海洋公园哺乳动物池中铵氮和亚硝酸盐氮的含量均低于 0.1×10^{-6}，硝酸盐氮的含量低于 5.0×10^{-6}。Pilleri 报道恒河豚饲养池中以上 3 种氮的含量分别为铵氮 0.8mg/L、亚硝酸盐氮 0.0046mg/L 和硝酸盐氮 2.0mg/L。显然控制池水中亚硝酸盐氮的含量是改善白鳖豚栖居环境的重要环节。由于只换水而不清洗豚池，这些有害成份会持续积累，清洗豚池后 30 天，池水中铵氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮分别可达到 0.8mg/L、0.3mg/L 和 2.5mg/L。

10．磷酸盐（活性磷）

测定结果见表 7-10。图 7-11 为水在豚池中停留的时间和水体磷酸盐含量的相关曲线。它们的回归方程分别为：

水温 6.6 ±0.31℃时

$$C=0.4301+0.5552t \quad (n=10, r=0.9889, P<0.05) \qquad (7\text{-}13)$$

水温 19.1±0.93℃时

$$C=0.1854+0.3847t \quad (n=10, r=0.9919, P<0.05) \qquad (7\text{-}14)$$

水温 27.7±0.76℃时

$$C=-0.0649+0.2122t \quad (n=10, r=0.9948, P<0.05) \qquad (7\text{-}15)$$

对以上 3 式相互比较发现，它们的回归系数彼此间均存在显著差异。温度越高，池水中磷酸盐的日增加率越低。

池中磷酸盐的来源仍以动物排泄物为主，香港海洋公园规定豚池中正磷酸盐的含量应低于 $2.0\times10^{-6}PO_4^{3-}$。白鳖豚饲养池由于目前没有滤水系统，故磷酸盐的最高含量高达 6.0mg/L。

11．大肠菌群数

豚池大肠菌群总数和生活在其中的水生哺乳动物的一系列疾病成正相关。常见的病

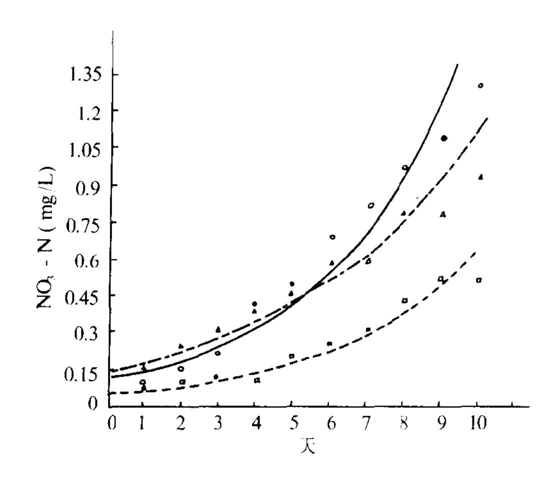


图 7-10 1 号池 NO_3^- —N 含量的变化曲线

Fig. 7-10 The changes of the contents of NO_3^- - N in the pool No. 1

△—·—·—·—6.6±0.31℃;○——19.1±0.93℃;□……27.7±0.76℃。

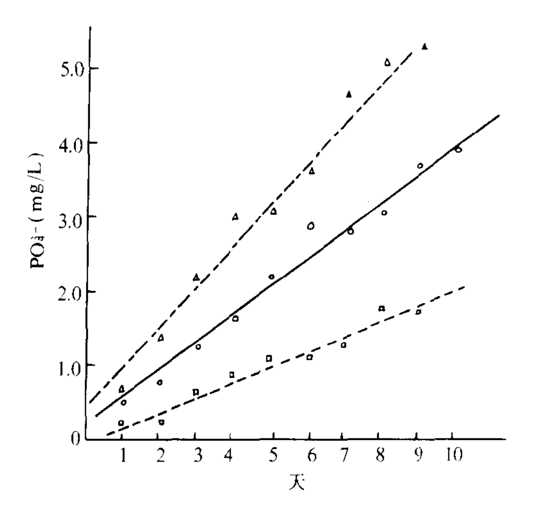


图 7-11 1 号池 PO_4^{3-} —含量的变化曲线

Fig. 7-11 The changes of the contents of PO_4^{3-} in the pool No. 1

△—·—·—·—·6.6±0.31℃;○——19.1±0.93℃;□……27.7±0.76℃。

有眼、耳、鼻和喉部感染以及肠道疾病。目前尚无滤水设备的情况下，所测的大肠菌群数为230、250、450、4 500和4 500个群落/100ml。白鳖豚“淇淇”在此环境中能健康地生活，没有严重感染的疾病，仅在秋冬季发现皮肤的碰伤处有轻微的腐皮病。在水温20℃以上时，尽管适宜这种细菌的生长，如能换水较勤，亦能控制细菌的滋生。

在豚类饲养中，水质监测是很重要的环节，特别是在有滤水系统的情况下，必须每天坚持监测池水中含氯量等指标的变动情况，以便及时调整加液氯等药物的量和换水次数等。

六、豚池设计标准

豚池是豚类动物饲养的基本条件，建设符合豚类动物生活、生长和繁殖需要，又便于操作管理的饲养设施，是豚类饲养成败的又一关键(刘仁俊，1993)。

中国科学院水生生物研究所1980年元月12日获得1头雄性白鳖豚，为此设计建造了一套简易饲养设施，其中一个圆形饲养池，直径15m，深4m，另一个长方形池子，20m×15m×4m，水源为自来水，无滤水系统，采取7天左右更换一次池水，1个月左右彻底清洗1次饲养池，我们采用这样的办法饲养“淇淇”至今，情况良好。

这套饲养设施也有很多问题，由于没有滤水系统，带来了藻类细菌繁衍，池壁池底积满藻类、自来水沉淀物和粪便等污物，水中存在大量悬浮物，致使白鳖豚体表皮肤腐皮病不断，给饲养管理工作带来很大的困难，加上这套饲养设施是由石头堆砌而成，尽管有水泥粉面，但裂缝比比皆是，地表地下污水不断渗入，致使豚池水质难以控制，为此我们通过总结11年来的饲养实践，并实地考察了10多个国家的许多豚类饲养设施，提出了白鳖豚饲养设施的设计标准，希望为我国豚类养殖事业的发展打下基础。

1. 世界豚类饲养设施设计标准评述

近一些年来，豚类动物的人工饲养在世界上得到了长足的发展，而且越来越多，因此豚池设计各种各样，五花八门，一些发达国家曾制订了豚类饲养设施的标准，其中著名的有美国农业部(Department of Agriculture)和动植物检疫部(Animal and Plant Health Inspection Service)颁布的美国海洋哺乳动物规则(USA Marine Mammal Regulation)。该规则把鲸类动物分成两大类，规定第一类鲸类动物饲养池的最小水平距离 MHD 应为鲸类最大体长的 2 倍，池深为最大体长的一半，最小池深 1.52m，每头豚所需最小表面积 SA 依下列公式计算：

$$SA = \left(\frac{\text{平均成体长}}{2}\right) \times 3.14 \times 1.5 = \left(\frac{L}{2}\right) \times 3.14 \times 1.5 \qquad (7\text{-}16)$$

容积计算公式如下：

$$V = \left(\frac{\text{最大体长} \times 2}{2}\right)^2 \times 3.14 \times d(\text{水深}) = \left(\frac{2L}{2}\right)^2 \times 3.14 \times d \qquad (7\text{-}17)$$

这种大小的饲养池可养 2 头豚。

第二类鲸类动物的 MHD 为成鲸体长的 4 倍，最小水深为 1.52m，每头豚所需最小表面积计算公式同一类鲸，容积计算公式如下：

$$V = \left(\frac{\text{最大体长} \times 4}{2}\right)^2 \times 3.14 \times d(\text{水深}) = \left(\frac{4L}{2}\right)^2 \times 3.14 \times d \qquad (7\text{-}18)$$

这种大小的饲养池可以养 4 头豚。

鲸类最大体长与相应的水平距离、水深、容积和最小表面积的比较详见表 7-12，7-13，7-14 和表 7-15。

表 7-12　II 组鲸类最小水平距离等的比较

Table 7-12　Compare of Minimum horizontal distance etc. of Group II Cetaceans

成体平均体长 Average adult length(m)	最小水平距离 MHD(m)	最小水深 Minimum required depth(m)	每头鲸所需水量 Volume of water for each cetaceean(m^3)
1.68	3.35	1.52	6.72
2.17	4.57	1.52	12.50
2.29	5.49	1.52	17.99
3.05	6.10	1.52	22.22
3.51	7.00	1.75	33.79
3.66	7.32	1.83	38.39
4.27	8.53	2.13	60.96
5.19	10.97	2.74	129.56
5.64	11.26	2.82	140.66
5.79	11.58	2.90	152.38
6.66	13.41	3.36	236.55
6.71	13.72	3.43	253.05
7.32	14.63	3.66	307.11
8.53	17.07	4.27	487.57

从表中看到亚河豚属于第一类鲸类，它的最大体长为 3.05m，是淡水豚类中个体最大的一种。显然白鳖豚也应属于第一类鲸类。根据上述规定，白鳖豚已知最大体长为 2.5m，则最小水平距离应为体长的 2 倍，即 5m，最小水深为 1.52m，每头白鳖豚所需最小

表面积为：

$$SA = \left(\frac{2.5}{2}\right) \times 3.14 \times 1.5 = 7.36\text{m}^2 \tag{7-19}$$

表 7-13 II 组鲸类最小水深等的比较

Table 7-13 Compare of Minimum required depth etc. of Group II Cetaceans

成体平均体长 Average adult length(m)	最小水平距离 MHD (m)	最小水深 Minimum required depth(m)	每头鲸所需水量 Volume of water for each cetacean(m^3)
1.83	7.32	1.52	16.00
2.13	8.53	1.52	21.77
2.29	9.14	1.52	24.99
2.44	9.75	1.52	28.44
2.59	10.36	1.52	32.10
2.73	10.97	1.52	35.99

表 7-14 饲养鲸类成体平均体长

Table 7-14 Average adult lengths of cetaceans maintained in captivity

种类 Species	体长 Body length(m)	种类 Species	体长 Body length(m)
第一组 First group		伪虎鲸 *Pseudorca crassidens*	5.64
白鲸 *Delphinapterus leucus*	4.27	虎鲸 *Orcius orca*	6.86
亚河豚 *Inia geoffrensis*	3.05	第二组 Second group	
镰鳍斑纹海豚 *Lagenorhynchus obliquidens*	2.29	北鲸豚 *Lissodelphis borealis*	2.74
宽吻海豚 *Tursiopus truncatus*	2.74	真海豚 *Delphinus delphis*	2.59
鼠海豚 *Phocaena phocaena*	1.68	长吻原海豚 *Stenella longirostris*	2.13
灰海豚 *Grampus griseus*	3.66	白点原海豚 *Stenella attenuata*	2.59
领航鲸 *Globicephala melaena*	5.79	斑原海豚 *Stenella plagiodon*	2.29
大吻领航鲸 *Globicephala macrohynchus*	5.49	黑胸拟鼠海豚 *Phocaenoides dalli*	2.13

表 7-15 每头鲸所需最小表面积

Table 7-15 Minimum surface area required for each cetacean

每头鲸成体平均体长 Average adult length of each cetacean(m)	每头鲸所需表面积 Surface area required for each cetacean (m^2)	每头鲸成体平均体长 Average adult length of each cetacean(m)	每头鲸所需表面积 Surface area required for each cetacean (m^2)
1.68	3.31	4.27	21.44
2.13	5.36	5.49	35.44
2.29	6.15	5.64	37.43
2.59	7.90	5.79	39.49
2.74	8.86	6.71	52.94
3.05	10.94	6.86	55.38
3.51	14.47	7.32	63.01
3.66	15.75	8.53	85.76

按规定这样大小的豚池可以养 2 头白鳖豚。我们的饲养实践表明，这样大小的豚池养白鳖豚显然太小，更不要说要养 2 头白鳖豚。世界鲸类学家也普遍认为美国的设计标准太小，不切合实际。

近年来英国剑桥大学的 Klinowska 博士系统研究和总结了英国历史上 30 多个水族馆饲养鲸类动物成功和失败的经验，并与其他国家的豚池设计规范进行了比较，提出豚池总面积（包括主饲养池、隔离池和治疗池）最少需要 $275m^2$，最小水深 3.5m，容积 $1000m^3$，这种大小的豚类饲养系统可以养 5 头豚，如增加 1 头豚需要增加 $75m^2$ 的面积、$200m^3$ 的容积。显然 Klinowska 所讨论的是指海豚而言，它们的个体一般要比淡水豚大，所以饲养设施大一点是必要的。目前各国学者普遍认为饲养设施略大一点为好。对豚类动物的饲养来说，豚池大当然好，但亦带来许多问题，最突出的问题是造价高，运转费用昂贵，难以管理。例如，豚病了或需要出水体检等，池子太大就很不容易操作。因此根据我们对许多国家的实地考察情况来看，目前各国的豚类饲养设施一般都有主养池、副养池和治疗池，这样既能使豚生活舒适，管理又方便。由于国外饲养海豚一般作为娱乐设施需要海豚表演各种各样的有趣动作，以吸引游客，所以一般均设计有范围很大的表演池，而且近年来的发展趋势是表演池越来越大。淡水豚类不能像海豚那样跳出水面表演花样翻新的节目，故一般不需要设计大型的表演池。

白鳖豚是淡水豚类，世界历史上人工饲养过的淡水豚仅 3 种，即亚河豚、恒河豚和白鳖豚，其中以亚河豚饲养最多，它们饲养设施的概况见表 7-16。

美国从 1956 年首次引进亚河豚人工饲养，到 1966 年为止，先后有 20 多个单位共饲养过亚河豚 70 余头，到目前为止仅有匹兹堡动物园存活 1 头，它的豚池为不规则长条形，长约 10m，宽 2—3m，深约 2m。日本鸭川海洋世界 1970 年引进 5 头恒河豚，最长存活 299 天，1969 年同时引进 2 头亚河豚，最长存活时间 17 年，饲养池长 4.1m，宽 2.1m，深 1.2m，每天循环 3 次。德国杜依斯堡动物园 1975 年引进亚河豚 5 头，现存活 2 头，饲养池长 6.58m 宽 5.5m，深 1.8m。

表 7-16　世界淡水豚的饲养设施

Table 7-16　Facilities for keeping freshwater dolphins in the world

种名 Species	饲养地 Rearing place	过去饲养头数 Past Number	豚池规格 Standards of the pool				1990 年成活头数 Alive in 1990	最长成活时间 Longest lifetime(year)
			直径 (Di)	长 (L)	宽 (W)	深 (D)		
亚河豚	美国匹兹堡动物园	1		10	2-3	2	1	23
Inia	日本鸭川海洋世界	2		10	4	1.9	0	17
geoffrensis	德国杜依斯堡动物园	5		6.58	5.5	1.8	2	16
印河豚 *Platanista*	瑞士伯尔尼大学大脑解剖研究所	8		4.1	2.1	1.2	0	5
indi	日本鸭川海洋世界	5		10	4	1.9	0	<1
白鳖豚 *Lipotes*	中国科学院水生生物研究所[1)]	4	15			4	1	11
vexillifer	南京师范大学	1		7	3	4	0	<1(Mon.)

1）中国科学院水生生物研究所豚池无滤水系统。

我国南京师范大学饲养池长 7m，宽 4m，深 3m，可循环处理池水，1 头雌性白鳖豚存活 17 天。中国科学院水生生物研究所原白鳖豚饲养池大小见表 7-16。

综观淡水豚饲养设施的情况，除瑞士伯尔尼大学大脑解剖研究所的豚池是按美国标准设计的以外，其他国家均大于美国的设计标准，但都大大小于目前世界上海豚的饲养设施。诚然淡水豚不能跳出水面表演动作，因此无需考虑设海豚馆那样大的表演池，但饲养设施太小可能亦是引起死亡率高的原因之一。

2．白鱀豚饲养设施的设计标准

豚类饲养设施的设计，必须考虑到能充分满足豚类生活、生长和繁殖的基本需要，又必须考虑到造价和运转费用的问题；由于淡水豚类不能像海豚那样表演许多空中节目，吸引游客，经济效益差，所以运转费用问题尤为突出。据此，我们提出新的白鱀豚饲养繁殖系统——白鱀豚豚馆的设计标准如下：

（1）总体布局　　从世界豚类饲养史和白鱀豚饲养 12 年多的实践表明，作为一个完整的豚类饲养系统，必须考虑大小和功能各异的主养池、副养池和治疗池。主养池是白鱀豚生活的主要场所，亦是向人们展示其风采的地方；另外，由于来自不同群体的白鱀豚，相互不熟悉并在感情上没有取得协调的情况下养在一起，会互相争斗，重者引起伤亡，另外由于实验和健康的原因，需要把某些个体分开饲养，因此必须设计一个副养池；豚类动物由于各种内外科疾病，经常需要起水治疗，因此另外设计一个便于治疗操作的治疗池是完全必要的。

世界上豚类动物在人工饲养下繁殖的例子不少，至今已有近千头幼豚出生，但成活的比例很小，其中幼体被饲养在一起的同伴攻击而死是重要原因之一，因此把孕豚与群体分开饲养，使其在安静的环境下生仔抚幼，将会大大提高豚类动物人工饲养下繁殖成功的比例，为此，单独设计了一座繁殖抚幼厅。

（2）豚池设计标准

1）最小水平距离(MHD)：它主要根据豚的游泳习性来确定。根据 12 年来饲养白鱀豚的实践，它在人工饲养下主要沿池周围作逆时针或顺时针方向游动，最大游速不超过 1m/s。以其成体最大体长 2.5m 计算，MHD 为其最大体长的 4 倍为宜，即 10m，因为 10m 的水平距离，豚主要是沿池壁作圆周运动，转身也灵活，完全可以满足它游泳行为的基本需要。如果按美国标准为体长的 2 倍，则回转半径太小，使豚处于不停的旋转运动之中，显然不合适。

2）豚池深度：豚类是深潜水动物，但白鱀豚与海豚不同，海豚生活于大海之中，潜水较深。

根据对长江多年的生态考察，白鱀豚喜欢在浅水区捕食、戏游和抚幼，一般水深为 3—4m。12 年来的饲养实践表明，在水深 3m 左右的豚池中生活良好，所以白鱀豚馆各池设计水深为 3.5m。如按美国标准为体长的 1/2，则仅 1m 多深的水会造成水温易受空气温度迅速变化的影响，并且不能满足其潜水动物生活习性的基本需要。如按 Klinowska 提出的海豚池水深 7m，目前尚未被世界各国承认，因为即使海豚亦常在 3—4m 的浅水区活动，世界各国近百年来饲养海豚的实践证明 4—5m 的水深完全能满足海豚的生活需要，而且 7m 的水深造成建筑费用昂贵，管理操作亦不方便。

3）表面积和容积：新建的白鱀豚馆，副养池直径为 10m，水深 3.5m，如上所述，这样的池子可以满足 1—2 头豚的基本生活需要，其表面积为 $78.54m^2$。主养池为 20m 长，

7—8m 宽的肾形池，其表面积为 140m^2。由于海豚能跳出水面，活动范围大，需要有较大的活动空间，以便在水下加速游泳后跳入空中，而白鳖豚极少有跳出水面的行为，即使身体全部跳出水面，亦只能贴近水面，所以白鳖豚不需要如海豚馆那样有很大的表演场地，以节约建设和运转费用。另外，根据海豚和淡水豚中的亚河豚在人工饲养下的交配行为看，它们是在游泳过程中，在水下雄豚下位腹朝上，把阴茎伸入上位的雌豚的生殖器，并没有很激烈的快速游泳活动或跳出水面等行为，所以这样大小的主养池一般可以满足它们的交配需要。

为了满足豚的治病需要，特别设计了治疗池，此时豚一般活动迟缓，而且还需要经常起水治疗处理，所以设计治疗池的大小为 7m 直径，2m 深，其表面为 38m^2。同时为了便于治疗时的操作，特别设计了在治疗池的一半范围内布设 1 步台阶和 1 个操作平台，平台宽 1m，高出池底 1m，这种设计既便于对病豚作治疗操作，又便于经常捕起豚治疗，还可以使豚在治疗处理后即在治疗池生活和休息。另外还便于豚在搬运时经过治疗池和通道放入或搬出主养池或副养池。以上三池总表面积为 257m^2，总容积为 897m^3。此饲养系统，因有完善的滤水系统，所以完全可以满足 4—5 头豚的生活需要。

4）豚池的形状：较大的主养池是动物的主要活动场所，必须有较大的活动空间，又有较大的展开面供游人参观，其形状可以是圆形、正方形、长方形、长椭圆形或肾形等，但以长椭圆形或肾形为好，因为一方面便于三种豚池的平面布置，另一方面便于豚有较长的水平距离活动。另外，根据许多国家学者的经验，豚池形状应有些弯曲，迫使豚游泳时有些变化为好，同时也有利于平面布置的需要。正方形或长方形不利于水的循环，容易造成死角，所以一般不予采用。其他副养池、治疗池和繁殖抚幼池均采用圆形，以便达到最大的利用面积，又便于豚作圆周运动。

5）地下观察厅：为了能清楚地观察豚在水下的各种行为，便于实验研究和向观众展示，特地设计了地下观察厅，在池壁上设水下观察窗 8 个，长 2m，宽 1.5m。

6）繁殖抚幼厅：为了使母豚能在安静的环境下生仔抚幼，提高幼仔成活率，设计了繁殖抚幼厅，内设直径 12m、深 3.5m 豚池 1 个。

7）滤水冷却系统：良好的水质是保证豚健康生活的关键之一，为此新豚馆配备了 2 套滤水系统，一套是日本国际协力事业团(JICA)赠送的滤水系统和冷却系统，处理能力为 450t/h，水温保持在 25℃ 以下(因为白鳖豚生活的长江水温最高不超过 25℃，实践证明 15—25℃ 是白鳖豚生活的最适水温)。该系统主要承担主厅内主养池、副养池和治疗池 3 个豚池水的净化处理和冷却。由于以上 3 个池的总容量为 897m^3，即表示此套系统可使主厅内 3 个池的水循环 12 次/天。该系统还与繁殖抚幼池连通，必要时也可使用该系统进行水处理。另外一套系统有过滤罐 15 个，日处理能力 6 000t，主要承担繁殖抚幼池和今后室外豚池的水处理。此两套系统互相联网，便于交替使用。

8）室外繁殖和实验生态池：为了让白鳖豚有足够的活动空间交配繁殖，并模拟长江自然环境进行实验生态学研究，特设计了一个长 30m、宽 15m 的室外豚池。

另外，还有与白鳖豚饲养繁殖系统配套的实验楼，内有完整的实验室、标本馆、学术报告厅和办公室，从而使白鳖豚馆形成一个完整的体系，供各方面的实验研究、展览和科普教育的需要，中国科学院水生生物研究所的白鳖豚馆是目前世界上淡水豚类饲养设施中规模最大，设备最好，设计最先进的饲养繁殖设施。

参 考 文 献

王克雄、官之梅，1990，白鱀豚饲养水质某些理化因子的变动规律，水生生物学报，14(1)：32—38。

王谋齐、朱成德、韩名竹，1985，白鱀豚池塘驯养的观察，江苏省水产科学，(3)：11—14。

刘仁俊，1981，白鱀豚的首次人工饲养，自然科学年鉴，1：45—41。

刘仁俊，1993，世界豚类饲养设施的设计标准与白鱀豚馆的设计，水生生物学报，17(2)：185—189。

刘仁俊、马建新、赵庆中、张永珍，1992，白鱀豚心电图的初步研究，水生生物学报，16(4)：304—309。

刘仁俊、王丁、龚伟民、王小强、陈道权、王克雄，1987，人工饲养条件下白鱀豚的行为节律，水生生物学报，11(4)：337—343。

刘仁俊、赵庆中、陈道权、张国成、龚伟民、田鸿生，1989，白鱀豚"珍珍"的疾病诊断、治疗和病理观察，水生生物学报，13(2)：189—191。

刘仁俊、赵庆中，1994，白鱀豚内科疾病防治的初步研究，水生生物学报，18(2)：174—179。

刘仁俊、林克杰，1982，白鱀豚的外伤治疗，海洋与湖沼，13(6)：548—552。

华元渝，1987，声驱网捕白鱀豚，水生生物学报，11(1)：99—100。

陈佩薰、刘沛霖、刘仁俊、林克杰，1986，白鱀豚的饲养研究，水生生物学报，10(2)：120—135。

陈道权、官之梅，1985，白鱀豚血液有形成分，动物学杂志，20(6)：8—11。

陈道权、官之梅，1987，白鱀豚某些血液生化指标的测定，水生生物学报，11(4)：371—374。

官之梅、陈道权、王克雄，1987，白鱀豚饲养池水质状况的研究，水生生物学报，11(2)：187—190。

徐伯亥、熊木林，1985，白鱀豚腐皮病致病菌的初步研究，水生生物学报，9(1)：59—67。

白鱀豚研究组，1985，活体白鱀豚的捕捉与运输，水产科技情报，2：28—29。

Bain, D., 1987, A journey through the NMFS marine mammal inventory, INI. M. A. T. A. Conference, 103—129.

Best, R. C. and Silva, V. M. F. da., 1989, Biology status and Conservation of *Inia geoffrensis* in the Amazon and Orinoco river basins, Occasional papers of the IUCN SSC, 3: 23—34.

Chen Peixun and Liu Renjun 1989, Captive husbandry of the baiji, *Lipotes vexillifer*, Occasional Papers of the IUCN SSC, 3: 146—149.

Caldwell, M. C., Caldwell, D. K., and Brill, R. L., 1989, *Inia geoffrensis* in captivity in the United States, Occasional papers of the IUCN SSC, 3: 35—41.

Klinowska, 1986, The cetacean magnetic sense—evidence from stranding, Research on dolphin, 401—432.

Liu Renjun, 1981, First river dolphin in captivity, Protecting Rare Animals, Published by China Reconstructs Magazine, 40—43.

Liu Renjun, Zhao Qingzhong and Zhang Xianfeng 1992, Study on the prevention and cure of some internal diseases in *Lipotes*, The 23rd IAAM Animal Conference, in Hongkong.

Liu Renjun, 1993, Overview of captive population, management concerns and disease of Baiji, China, International Symposium on PHVA, in Nanjing.

Pelleri, G., 1970, The capture and transport to Switzerland of two live *Platanista gangetica* from Indus River, Inves. on Cetacea, 2: 61—68.

Pelleri, G., 1983, Cetaceans in captivity, Inves. on Cetacea, 15: 221—249.

Tobayama, T. and Kamiya, T., 1989, Observations on *Inia geoffrensis* and *Platanista gangetica* in captivity at Kamogawa Sea World, Japan, Occasional papers of the IUCN SSC, 3: 42—45.

第八章 白鱀豚的保护与拯救对策

关于野生动物的保护问题，近几年来生物学家从一个新的概念来分析保护野生生物的意义，提出了生物多样性(Biodiversity)的问题。生物学家认为现在生物的多样性是亿万年生物进化历史的记录，它是地球演化留给世界的财富，如在人类的食物、健康、工业原料、社会的发展等方面都为人类提供了利益。可是地球在自然演化中，古老的物种会不断地灭绝，而由新的物种取而代之。但是人们在近几个世纪来，发现这种灭绝大大地加快了，在17世纪中约5年灭绝一种哺乳动物，而在20世纪只要1—2年。为此，新列入各国保护生物名录的物种急剧增加。根据科学家的研究与探索，发现许多物种的灭绝，乃是由于人类的活动直接或间接导致的，随着社会的发展，开发利用自然资源越来越快，越来越多，使得一些物种或利用过度而频危，或随着生境的破坏而消失。因此，许多动物不是由于自然进化而被淘汰，而是由于人类活动迫使它们灭绝的。现在摆在保护生物学家面前的重大任务，是要以保护世界生物多样性的观点来工作，保护世界生物多样性才是野生动物保护和管理的根本目的(陈宜瑜，1990，杨健，1991)。

对珍稀濒危物种白鱀豚的保护，我们亦应持此观点，认真对待，努力工作。白鱀豚的物种现状以及导致该物种濒危的原因，在第五章中已详细叙述了，当前十分紧迫而急待解决的问题是要加快步伐，早日实现我们所拟定的抢救和保护白鱀豚的行动计划。

白鱀豚的保护问题，在70年代国内已引起注意，1978年中国科学院组织了一个由中国科学院水生生物研究所为主持单位的白鱀豚研究协作组，以保护为目的开展了白鱀豚的形态学、生态学、养殖生物学、行为及声学的系统研究(Chen, 1986)。在科研活动中，科学工作者与在长江中作业的渔民、航运船员以及沿江生活区的居民们等保持密切联系，进行广泛宣传，使得他们对保护白鱀豚的意义和当前威胁、危害白鱀豚生存的因素有所了解，密切配合科研工作，更为重要的是白鱀豚的保护受到了国家各级领导的关怀与支持。1980年4月湖北省人民政府首次发出了《关于保护珍贵动物白鱀豚的布告》，公开宣布了不准有意杀捕伤害白鱀豚，对故意伤害者依法惩处，在捕鱼中无意伤害后如何进行抢救处理，以及对保护白鱀豚有功者进行奖励等实施条例。此文下达基层后，普遍引起注意和重视，对白鱀豚的保护起到了一定的作用。接着于1984年湖北省鄂州市科学技术协会，发起成立了鄂州市白鱀豚保护协会，并聘请中国科学院水生生物研究所专家曹文宣、陈佩薰任顾问，使得白鱀豚的保护工作在湖北省逐步扩大。1985年4月，国家环保局主持，在武汉市召开了环保、水产、科研单位参加的沿江五省一市白鱀豚保护工作座谈会。同年11月，湖北省农业局主持召开了湖北省白鱀豚保护工作会议，会上中国科学院水生生物研究所根据多年研究提出了拯救白鱀豚的三大措施。此后，相继在安徽省、江苏省都开展了这方面的活动，我国已将白鱀豚列为一级保护动物。

在国际上，1974年在加拿大召开的小型鲸类国际会议上，当时对白鱀豚的认识知之甚少，可以说是空白。1981年世界捕鲸委员会(International Whaling Commission)邀请中国科学院水生生物研究所陈佩薰作为特邀代表参加会议，她带了一份白鱀豚科学研究

报告及一部介绍白鳖豚的录像片，这是我国第一次参加国际鲸类保护的会议，与会者对所介绍的情况感到极大的兴趣，开始对我国白鳖豚的保护及科研工作有所了解，1982年我国被正式接纳为国际捕鲸委员会的成员国，从此白鳖豚的保护及科研工作得到世界的关注和支持。1986年国际自然和自然资源保护联盟（International Union for Conservation of Nature and Natural Resources）下属物种生存委员会（Species Survival Commission），将白鳖豚列为世界最濒危的12种动物之一。并邀请中国科学院水生生物研究所陈佩薰、南京师范大学周开亚参加该会的鲸类专家组（Cetacean Specialist Group）。当年鲸类专家组主席佩林博士（Perrin W. F.）与中国科学院水生生物研究所和南京师范大学共同主持，在武汉召开了"淡水豚类生物学和物种保护"学术讨论会，来自8个国家的48位淡水鲸类研究专家参加了这次会议，会上着重讨论了我们提出的白鳖豚的濒危现状及保护对策（Perrin *et al*. Eds, 1989）（图版Ⅳ和Ⅴ）。

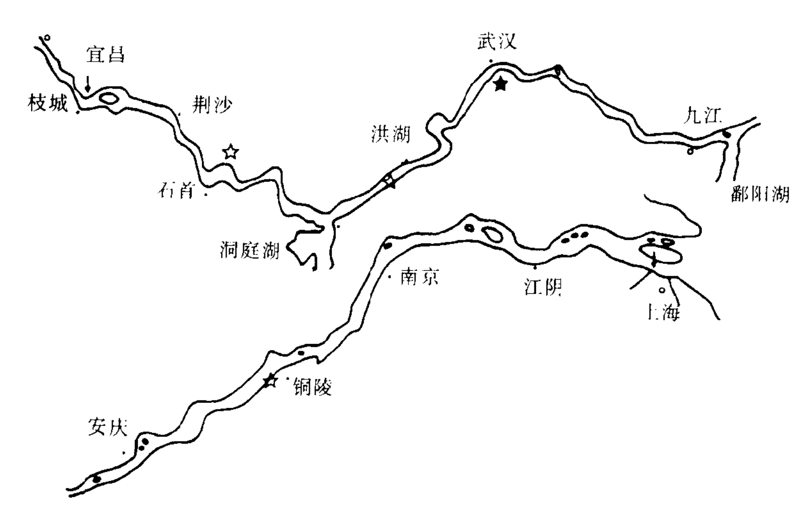


图8-1　长江中下游白鳖豚保护区分布图

Fig. 8-1　The protected areas for *Lipotes vexillifer* along the middle and lower reaches of the Yangtze river

中国科学院水生生物研究所从1978年开始，一直有一支科研队伍长期活动于长江中下游，为白鳖豚的保护而努力工作（王丁，1994；陈佩薰等，1986，1991，1993；华元渝等，1991，1992；刘仁俊等，1980，1981；林克杰等，1980，1985；张先锋，1994；Chen *et al*.，1992）。自1985年提出保护白鳖豚的三大措施以来，在以后的工作中逐步完善，作出了一个拯救与保护白鳖豚的行动计划，这个计划已得到国家科委的重视与支持，我们有充分信心能够完成这个行动计划。现将实施情况介绍如下：

一、建立白鳖豚半自然保护区

建立白鳖豚半自然保护区（semi-natural reserve）是动物易地保护的一种形式。针对人类生产活动对白鳖豚的影响，把部分白鳖豚群体从不易控制的水域移到相对较小、较容易实施人为控制而又具有白鳖豚栖居条件的水域中，在这里尽量减少人为的干扰，进行自

然或人工繁殖，以达到保护的目的。我们认为，这种形式是保护像白暨豚这样一类濒危、稀有物种的最佳方案（B.R.G，1989）。

为了在长江中下游选择一个适宜建立白暨豚半自然保护区的场所，从1984年我们就已开始进行调查，首先抓住长江中游建立半自然保护区的优势所在，应是具有“九曲回肠”之称的荆江江段，因该江段由于河道经过长期冲刷，有的自然或人工裁弯取直形成故道（old course），有的形成与长江脱离的牛轭湖（oxbow）。这些故道具有半自然水域条件，但要挑选一个最为合适的。通过分析研究，认为评价一个水体是否适于建立白暨豚保护区的三大因素应该是：① 水域的环境条件，包括水文地理、水质理化状况、有无污染源、水域以及水域周围人类活动情况；② 水域中白暨豚食料的丰度以及适口鱼类的资源状况；③ 故道口门是否具有简便易行的防止白暨豚逃至长江的设施条件。为此，从以上三方面来考虑，最后选定湖北石首天鹅洲故道，并于1987—1989年对该故道作了较为详细的本底调查及试验，采样分析和研究，结果如下（张先锋等，1995）。

1．天鹅洲故道的水域环境

天鹅洲故道（图8-2）位于下荆江江段，自然形成于1974年，现河道长约21km，宽800—1 200m。河床底质为砂质粘土，泥多于砂。故道的水位高低，不仅与上游流量有关，还受下游洞庭湖出水顶托的影响。一般洪水年份水位为36—37m，最高水位达38.44m。上口泥砂淤积基本堵塞，下口离长江干流的2km处一分为二，左右流入故道，形成河环，每年汛期（5—9月）有一串沟与长江相通。枯水季节（10月至次年4月）水位33m左右，此时故道与长江隔断，呈一月亮湖。故道内河床特征是：其外缘从沙滩子、冯潭闸到江滩一岸为深槽，最深处在汛期约为25m，其内缘即与深槽相对靠天鹅洲一岸为发育良好的边滩，这一带水草繁茂，是鱼类摄食、生长的优良环境。故道的水源主要是长江，另有冯潭闸和春风闸纳入少量地面水，当调节农业用水，水闸启闭时，亦有少量农用水和生活污水排入。故道地处偏僻，周围主要分布一些人口不密集的农业户，附近没有工矿，污染源极少。

2．水质理化状况

（1）水温　冬季水温最低为5.9℃，夏季最高为26.9℃。不同水区的水温无明显差异，不同水层的水温度变化亦不大，春季表底层水温差为1.2℃，夏季为0.2℃，秋季为0.3℃，冬季为0.8℃，这种分层温差不显著可能是由于夏季洪水季节水的交换量大，而冬季枯水季节最深处仅15 m的缘故，故道水温同长江水温相比较，长江中游最高水温亦为26.9℃，冬季最低为8.1℃，比故道略高2℃，若与中国科学院水生物研究所白暨豚饲养池水温比较则相差较大，据人工饲养池饲养白暨豚的情况来看，生存可允许的水温范围为5—33℃，故道水温几乎接近于长江水温，看来是比较适宜于白暨豚生活的水温（表8-1）。

（2）透明度　为0.3—1.75m，一般说来，故道水比长江水的透明度高，但在汛期，长江水注入故道，接近口门的水区，水的透明度显著低于故道内而接近长江水。

（3）水质化学　从表8-1中水化学分析结果可以看出，故道水质pH值为7.1—7.49，与长江水极为接近，属中性微偏碱，水的硬度（德国度）为5.6—10.9，属中等软水。水中溶氧量为5.66—10.5mg/L，溶解氧丰富，这些指标都与长江水质极为接近。虽然故

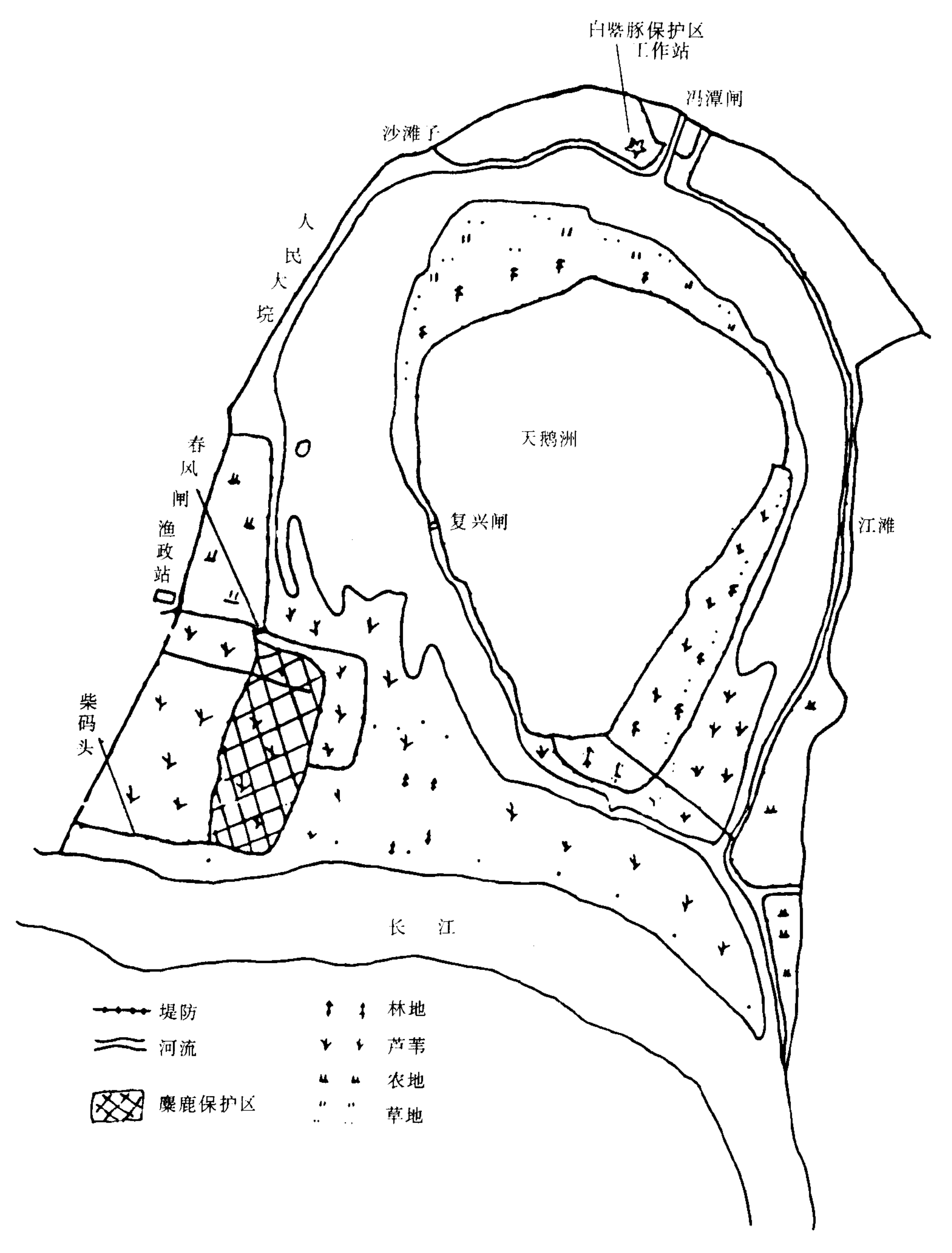


图 8-2　天鹅洲故道平面图
Fig. 8-2　Map of Tian-e-zhou (swan) oxbow

道水中的三态氮(NO_2^-、NO_3^-、NH_4^+-N)含量为 0.119—0.6mg/L,低于长江水中的含量,但尚属适中。

表 8-1 天鹅洲故道、长江干流及水生所豚池水质理化生物状况

Table 8-1 Comparisons of water quality among the oxbow, main Yangtze and Dolphin pool

项 目 Items	天鹅洲故道 Oxbow	长江干流 Changjiang	豚池 Dolphin Pool	允许范围 Acceptable range
水温(℃)Water temperature	5.9—26.9	8.1—26.9	2—33	5—30
pH 值	7.1—7.49	7.06—7.54	6.5—8.6	6.5—8.6
溶解氧(mg/L)Dissolved Oxygen	5.7—10.5	6.2—10.4	6.0—11.9	>5
有机物耗氧量(mg/L) Oxidizability	5.5—40.1	7.9—67.2	1.7—5.16	<6
硬度($mgCaCO_3$/L) Hardness	139.23	151.72	75—139.3	50—150
三态氮(mg/L) Nitrogen	0.19—0.6	0.51—0.97		
砷(mg/L) Arsenic	0.005	0.008		
氟化物(mg/L) Fluoride	0.08—0.19	0.06—0.22		
硫化物(mg/L) Sulphide	0.16—2.53	0.10—1.70		
挥发性酚(mg/L)Volatile phenol	0	0		
氰化物(mg/L) Cyanide	0—0.003	0—0.002		
大肠杆菌数(个/ml)	23—2 380	23	230—4 500	<4 500

(4) 重金属、类金属及有毒物质　从表 8-2 中可以看出，故道水中的重金属、类金属及氟化物、酚类、氰化物等有毒物质含量均极少，只是其中的硫化物含量为 0.16—2.53mg/L，高于长江水，这是否与农民在道故水中浸泡黄麻有关，有待进一步查明原因，以限制污染源的产生。

表 8-2 天鹅洲故道水体金属及类金属半定量分析(mg/L)

Table 8-2 Data of semi-quantitative analysis of metals and metalloids in the oxbow

Pb 铅 0.003	Mo 钼<0.001	Ca 钙>10	Cr 铬 0.005	Ba 钡 0.04	Sr 锶 0.2
Zn 锌 0.03	Na 钠 1—5	Mg 镁>10	Ni 镍≤0.001	Ti 钛 0.01	Fr 钫<0.003
Cu 铜 0.007	Fe 铁 0.1—1	Si 硅 1—10	Co 钴<0.001	Zr 锆 <0.01	Yt 钇<0.01
Ga 镓 0.001	Al 铝 0.1—1	Mn 锰 0.002	V 钒≤0.003	Be 铍 0.0003	Yb 镱<0.001

(5) 大肠杆菌菌群数　计算水体中大肠杆菌菌群的数量是当今用以衡量一个水体污染程度的一项重要生物指标。故道水中的大肠杆菌菌群周年内波动范围在 23—2 380 个/ml，比长江水中的 230 个/ml 要高，而比饲养池水中的 230—4 500 个/ml 则要低得多。

从天鹅洲故道水质分析结果来看，基本上与长江水质状况相近，且重金属、类金属和有毒物质含量极微，均在渔业水质标准范围内，对水生生物没有不利影响。故道水质与中国科学院水生生物研究所用了 10 多年的白鱀豚饲养池的水相比，则故道水域的水温、pH 值均较稳定且变化幅度较小，而大肠杆菌菌群数量也要少得多。故道水体耗氧量较高，说明水体中的有机物质丰富，有利于水生生物生长，这对水体自净以及鱼类生长都是有利的。从故道的水质理化条件来看，可以说这样的环境对白鱀豚的生活是适宜的。

3. 水生生物状况

(1) 浮游植物　天鹅洲故道水中有藻类7门46属,年平均数量为89.1万个/L,优势种类为:硅藻占30.66%,绿藻占30.56%,隐藻占26.57%,其中以鱼类易于消化的种类占多数。

(2) 浮游动物　有23种。枝角类8种,桡足类2种,轮虫4种,原生动物6种,其他3种,年平均数量为13 824.12个/L,变化幅度4 586.64—32 484.27个/L。其中以原生动物数量最多,占98.56%。

(3) 底栖动物　采得29种,平均密度为1 082个/m^2,生物量为39.3g/m^2。其中寡毛类9种,数量最多,占71.16%;水生昆虫5种,占24.21%,软体动物13种,占4.62%。因软体动物个体最大,故生物量最高,占总生物量的81.37%。

(4) 水生高等植物　采得7种,有菹草、马来眼子菜、眼子菜、轮叶黑藻、金鱼藻等。生物量平均为91.4g/m^2,年变动范围为27—280g/m^2。

我们将天鹅洲故道与长江干流和东湖水体中生物群落作比较(表8-3),可以看出故道水体中水生生物的丰度仅低于长江中游湖泊东湖,而比长江干流水要高得多,这为白鳖豚在故道中生存提供了有利条件。

表8-3 天鹅洲故道、长江干流及东湖主要生物群落结构比较

Table 8-3 Comparisons of the structure of the biological community characteristics among the oxbow, main Changjiang and the East Lake in Wuhan

水 体 Body of water	异养菌数 (个/ml) Bacteria	浮游植物 (万个/L) Phyto-plankton	浮游动物 (个/L) Zoo-plankton	底栖动物 (个/m^2) Benthon	水生高等植物 (g/m^2) Aquatic macrophytes	资源来源 Source of data
天鹅洲故道 Tian-e-zhou oxbow	5 858	89.1 (4.88—181.62)	13 824.12 (4 586.64—32 484.27)	1 082 (625—1 624)	91.4 (27—280)	自测
长江中游干流 Middle and lower reaches of Changjiang		13.70	1 790.4	283		梁彦龄等,1988
东湖 East lake		33.37—103.19	11 103	3 643	158.3	刘建康,1990

(5) 水体初级生产力　分析水体生物生产力的主要目的是要了解水体初级生产力。因为它是食物链的第一个环节,是评价一个水体生物生产力的重要部分,而分析浮游植物中的叶绿素a与脱镁叶绿素含量,又是水体初级生产力的重要指标。我们对天鹅洲故道水体中浮游植物的叶绿素a与脱镁叶绿素进行了分析,其叶绿素a的年平均含量为4.19mg/m^3,变幅为0.09—8.95mg/m^3,脱镁叶绿素年平均值为1.93mg/m^3,变幅为0.00—3.84mg/m^3。另外,我们还测定了水体生产量指标的水体表层日产氧量及水柱日产氧量,分别为0.90,1.34。我们将这些指标的数值与长江干流及中游湖泊中的作比较,得出与水生生物群落丰度有相同的结果,即故道水体初级生产力低于湖泊而高于长江干流(表8-4,8-5)。

表 8-4 天鹅洲故道、长江及中游湖泊浮游植物叶绿素含量比较

Table 8-4 Comparisons of the chlorophyl content of phytoplankton in the oxbow, main Yangtze and lakes around the river

	叶绿素 a Chlorophyll-a (mg/m^3)		脱镁叶绿素 De-magnesium Chlorophyll (mg/m^3)		资料来源 Source of data
	平均值	变幅	平均值	变幅	
天鹅洲故道 Oxbow	4.19	0.09—8.95	1.93	0.00—3.84	自测
宜昌江段 Yichang	0.83	0.00—2.54	1.99	0.09—6.6	王骥等,1988
长江中游 Middle reaches	1.13	0.54—1.91	0.99	0.00—1.9	王骥等,1988
武黄湖 Wuhuang lake	10.26	2.28—15.84	6.96	0.00—20.47	王骥等,1988
马口湖 Makou lake	13.49	0.47—29.34	2.8	0.31—6.52	王骥等,1988
东湖 East lake		8.07—16.83		4.9—10.19	刘建康,1990

表 8-5 天鹅洲故道、长江及中游湖泊初级生产量比较

Table 8-5 Comparisons of primary productivities among the oxbow, main Yangtze and Lakes dround the river

	采样时间 Date of sampling	表层日产氧量 (mgO_2/L) Daily production of oxygen at water surface	水柱日产氧量(gO_2/m^2) Daily production of oxygen in water column	资料来源 Source of data
天鹅洲故道 Oxbow	1988.6	1.50	2.17	自测
	1988.9	1.09	2.06	自测
宜昌江段 Yichang	1984.5	0.16		王骥等,1988
	1984.9	0.22		
长江中游 Middle reaches	1984.6	0.36	0.07	王骥等,1988
	1984.9	0.14	0.04	
武黄湖 Wuhuang lake	1982.5	3.28	1.15	王骥等,1988
	1982.8	2.88	2.12	
马口湖 Makou lake	1982.5	3.04	2.68	王骥等,1988
	1982.8	9.68	5.44	
东湖 East lake	1986.5	1.16	2.34	刘建康,1990
	1986.8	6.14	8.70	

4. 渔业状况

(1) 渔船及渔具　在天鹅洲故道内作业的渔民,大多是本地专业渔民,也有少数为副业渔民和外来临时捕鱼者,根据统计,最少时有 97 条渔船,最多可达 186 条,一般有 150 条。所使用的渔具有刺网、滚钩、地钩、砣钩、卡子、拖网、麻布网、迷魂阵(分稀眼和密眼)等共 9 种。其中有些渔具渔法,如迷魂阵、麻布网等是渔业法规上禁用的,因为它对鱼类资源具有毁灭性的危害,但在这里没有得到严格控制。

(2) 鱼类资源　故道中的渔获物,按种类区分,共有 29 种鱼类,归属于 7 目 11 科,其中鲤科 Cyprinidae 鱼类有 17 种,占整个种类的 59%;还有虾类 3 种。按体形大小及生

殖类型区分，属大型江河性鱼类有：青鱼、草鱼、鲢、鳙、鳡、长春鳊等，占22%；大型湖泊性鱼类有：鲤、鲫、乌鳢、黄颡鱼、翘嘴红鲌、鲶等，占23%；小型鱼类有：银鱼以及鱵等，占29%；虾占26%（表8-6）。

表 8-6 天鹅洲故道渔获物组成

Table 8-6 Composition of fish species caught in the oxbow

科 Family	种(中文名) Species(Chinese name)学名 Scientific name
鲤科 Cyprinidae	青鱼 *Mylopharyngodon piceus* (Richardson)
	草鱼 *Ctenopharyngodon idellus* (Cuvier *et* Valenciennes)
	鳡 *Elopichthys bambusa* (Richardson)
	赤眼鳟 *Squaliobarbus curriculus* (Richardson)
	鳊 *Parabramis pekinensis* (Basilewsky)
	三角鲂 *Megalobrama terminalis* (Richardson)
	翘嘴红鲌 *Erythroculter ilishaeformis* (Bleeker)
	䱗 *Hemiculer leucisclus* (Basilewsky)
	红鳍鲌 *Culter erythropterus* Basilewsky
	黄尾鲴 *Xenocypris davidi* Bleeker
	中华鳑鲏 *Rhodeus sinensis* Gunther
	花䱻 *Hemibarbus maculatus* Bleeker
	麦穗鱼 *Pseudorasbora parva* (Temminck *et* Schlegel)
	鲤 *Cyprinus carpio* Linnaeus
	鲫 *Carassius auratus* (Linnaeus)
	鲢 *Hypophthalmichthys molitrix* (Cuvier *et* Valenciennes)
	鳙 *Aristichthys nobilis* (Richardson)
鳀科 Engraulidae	短颌鲚 *Coilia brachygnathus* (Krenyenberg *et* Pappenheim)
银鱼科 Salangidae	银鱼 *Hemisalanx prognathus* Regan
鳅科 Cobitidae	中华沙鳅 *Botia superciliaris* Gunther
	泥鳅 *Misgurnus anguillicaudatus* (Cantor)
鲿科 Bagridae	黄颡鱼 *Pseudobagrus fulvidraco* (Richardson)
	长须黄颡鱼 *Pelteobagrus eupogon* (Boulenger)
鲶科 Siluridae	鲶 *Silurus asotus* Linnaeus
鱵科 Hemirhampidae	鱵 *Hemirhamphus kurumeus* Jorden *et* Starks
合鳃科 Symbranchidae	黄鳝 *Monopterus albus* (Zuiew)
鮨科 Serranidae	鳜 *Siniperca chuatsi* (Basilewsky)
鳢科 Ophiocephalidae	乌鳢 *Ophicephalus argus* (Cantor)
刺鳅科 Mastacembelidae	刺鳅 *Mastacembelus aculeatus* (Basilewsky)

根据1988—1989两年的统计，天鹅洲故道年渔产量为41 000kg。从我们人工饲养的研究材料中得知，体长15—30cm、体重100—600g的鱼类是白暨豚最为适口的大小，而这种大小的鱼类占总产量的45%，也就是说一年中能提供18 000kg的鱼类作为白暨豚的饵

料。由此可以认为，天鹅洲故道中白鳖豚的食物资源是相当丰富的。

5. 天鹅洲故道的演变过程及对未来的预测

1972年7月沙滩子河发生了自然裁弯，而形成天鹅洲故道，故道的分流量和泥砂的淤积是密切相关的，在故道形成初期分流量大，淤积较快，到1972年底，故道的进口断流，随着新河的迅速形成与发展，故道分流比减少，流速减慢，泥砂大量落淤，裁弯后第一年上口淤堵，故道下口门由于江水倒灌及异重流发生，淤积速度加快。至1975年6月下口门河床最低高程也超过当地一般枯水位，从这以后，故道仅在汛期洪水季节过流，故道形成一河环，一年之中有5—6个月与长江相通，枯水位时为一"月亮湖"。

故道形成河环形状，有一条底宽为50m的串沟与长江相通，串沟位于故道中口门附近的长江新河湾的弯顶处(图8-2)，它有利于吸引长江凹岸表层较清的水。在高水位时，浸入故道的夹砂水流，经口门处芦苇的滞流后，含砂量变小，所以故道和口门串沟淤积甚微；水位降落时，故道内的清水经过串沟又流入长江，保持串沟存在。故近几年来，口门串沟除向东南延伸约2 200m外，断面形态变化不大，口门的形态及底部高程亦未发生明显改变，冲刷与淤积处于相对平衡的稳定状态，这种状态预计将维持相当长的时间(段文忠，1989)。为了防止故道下口门的淤堵，我们认为不宜也不需要大搞工程建设，因为串沟长度不大，如果口门及串沟淤积到影响串沟进流时，可以及时采取挖泥措施，疏通串沟。

三峡建坝后对天鹅洲故道的可能影响，据段文忠等(1989)对三峡水库175方案下游河道冲刷的初步研究，认为运用10年后藕池至调关河段平均冲深约1m，50年后冲刷深度可达5.4m。随着河道段的冲深，水位下降，江水漫入故道的时间将缩短，但此过程较长，预计天鹅洲故道亦会保持一个相当长的时间，初步估计可维持50年。

6. 江豚放养试验

从对天鹅洲故道作为建立白鳖豚的半自然保护区的可行性研究结果来看，认为这里是较为适宜的，但为了进一步证实我们工作的可靠性，决定采用先引进一群江豚，作放养试验，选择江豚为对象的依据是，长江中仅有二种豚类——白鳖豚和江豚，它们的生活习性较为相近，特别摄食时，常混在一起，捕捉鱼类。我们于1990年3—4月期间，先后分二批共引进5头江豚到天鹅洲故道：3月4日放第一批，为1雄(M)2雌(F_1、F_2)，采取先在故道内岸边新堤场附近距西岸约50m处，用一周长100m的围栏，水深2—3m，围养了20天，待它们适应故道环境后撤网放豚；4月5日又引进2头江豚，均为雌性(F_3、F_4)，直接放入故道。作了一周年的观察，记录它们的摄食、创伤、疾病、活动、分娩、抚幼等情况(表8-7)(图版Ⅵ，B、C、D)(张先锋等，1995；杨健等，1995)。

(1) 摄食　围养期间，初放入围栏中有些惊慌，投喂鱼时不予不理采，经过4天后，开始捕捉投入的鱼类，每日3次，3头江豚每日食量共达15kg。

(2) 创伤与疾病　由于捕获、运输，豚体在不同程度上受到皮肤擦伤或者钩伤，江豚被捕起时，作了每头注射80万单位青霉素的处理。用汽车运到故道时，在每头江豚体表涂抹红霉素。圈养时，在鱼腹内放少量抗生素药片。在圈养20天后撤网时，江豚体表受伤部位基本痊愈。

(3) 分娩与抚幼　有2头怀孕雌豚(F_1、F_3)，到故道后，能正常发育，于5月1日和

5 月 9 日顺利产下 2 头仔豚(B_1、B_2)，B_1 产出后，气候变化，在狂风暴雨之中，江豚母子被迫分离，仔豚被刮到小钩作业区，被钩缠住而死亡，B_2 一直由母豚哺乳、护带，生长良好。

表 8-7 天鹅洲半自然保护区试养江豚情况

Table 8-7 The testing results of rearing finless porpoise in the oxbow

编　号 No.	性　别 Sex	体　长 Body length (m)	捕获日期 Catching date	捕获池 Catching place	备　注 Remarks
M	♂	1.54	1990.3.2	城陵矶	围养 26 天，4.25 意外死亡
F_1	♀	1.51	1990.3.2	城陵矶	围养 26 天，妊娠个体顺利生产
F_2	♀	1.60	1990.3.2	城陵矶	围养 26 天
F_3	♀	1.30	1990.4.4	城陵矶	直接放入故道，妊娠个体，顺利生产
F_4	♀	1.30	1990.4.4	城陵矶	直接放入故道
B_1					1990. 5. 1 出生，意外死亡
B_2					1990. 5. 9 出生，生长发育良好

(4) 活动行为与防逃　二个群体 5 头豚，时而合成一群，时而分散，江豚多在深槽水区游动，喜欢在鱼群较为密集的浅水区中捕捉鱼类，并观察到它们有争斗行为(杨健等，1994)。江豚还有逃避障碍的特性，由于天鹅洲故道尚未被正式作为一个保护区，故原在故道内作业的渔民，暂限在划定的水区和使用规定的网具，故在渔民作业密集的地方，江豚一般采取回避的行为。

在 1991 年长江发生特大洪水时，我们没有采取任何防逃措施，但江豚仍在故道内活动，不出故道进入长江，我们分析其原因可能是：

1) "芦苇墙" 和曲折窜沟是防止江豚逃逸的天然屏障：故道上口外生长着一大片稠密的芦苇滩，一直延伸到下口串沟出口处，芦苇的顶端常高出洪水季节时的水面，无疑形成一道芦苇墙，串沟虽水较深，但弯弯曲曲呈"S" 形，江豚可能对这种环境是回避的。

2) 人类活动的影响：由于故道尚未正式实行保护管理，呈开放状态，虽在江豚放入后制定了一些条例，但仍管理不严，特别是在下口附近渔民作业网具较多，加之串沟中运输船只来来往往，种种原因都使江豚无法进入长江。

3) 江豚本身的原因：江豚对一些狭窄水道常采取回避态度，这在我们对江豚进行人工饲养中得到证实，因为把江豚放在两池之间有一颈状窄道相通的一池中，江豚从不通过颈状窄道而进入另一池。

在确定天鹅洲故道建立保护区时，在防止白鱀豚逃出故道问题上，还是应该考虑一个长远计划，采取一定的措施。

7. 建立天鹅洲白鱀豚半自然保护区的规划

① 天鹅洲故道保存有长江自然水域的特色，故道内有水草丛生的浅滩，有深度可达 20m 的深槽，许多小生境基本符合白鱀豚栖息的自然条件，水面辽阔，环境优美，无污染源，鱼类资源充足，食料丰富，白鱀豚在这里像生活在长江一样。

但故道一年中有半年与长江隔断，便于人工控制和管理，所以，它一旦被国家确定为

国家级白鳖豚半自然保护区后，可以有计划地进行改造和制定管理方案，使白鳖豚在此能正常繁殖和安全生长，故天鹅洲集自然和人工环境条件于一体，具有半自然特色。

② 有计划地引入白鳖豚，根据 Ralls(1989)从群体遗传学的观点分析白鳖豚半自然保护区的繁殖计划后提出的具体意见，认为只要放入 20—25 头不同群体的白鳖豚，可以保持 200 年，我们认为从目前现实情况出发，现长江白鳖豚种群数量不足 100 头，当前捕豚技术、经费等都是无法一次完成的。为此，捕豚引入保护区只能分批进行，但为了保持群体遗传多样性，需要形成多个亚群体，故在引入白鳖豚的来源上，应注意从不同江段捕豚引入，同时亦可与其他保护区、养护场作交换，让它们在保护区内自然繁殖，或者采取人工受精的方法进行人工繁殖。

③ 建立防逃设施，既要保持故道的通江条件，使长江的鱼类仔鱼能进入故道，以补充鱼类资源，同时故道水能经常与长江交换；又要使白鳖豚不游逃到长江，还需采用简便易行投资不大的方案。通过调查，我们认为可以结合地方农田水利的建设计划，将故道口稍加改造利用下口原有土堤，在关键地段增设拦栅，预计即使在特大洪水期亦可防止白鳖豚逃出。

④ 天鹅洲白鳖豚半自然保护区应成为白鳖豚保护生物学的研究基地，即使白鳖豚放进去以后，还有许许多多科研工作，如白鳖豚的生态学、行为生物学、繁殖生物学的研究等需要在这里进行，因为天鹅洲白鳖豚半自然保护区仅是第一个，今后在长江还需建立多个，这里应建设成为白鳖豚保护区的典型模式。

⑤ 天鹅洲故道是一个环境优美、安静、人类活动干扰少的地方，有水有岛，这里可以考虑发展成为我国稀珍动植物自然保护区，它可以成为野生动物的乐园、基因库、活标本馆及研究基地，以野生动植物为特色的旅游胜地。

对于选择一个较为理想的地方，建立白鳖豚的半自然保护区，我们采取了较为慎重的态度，1987—1988 年进行了天鹅洲故道环境背景值的调查，于 1988 年底邀请了国内在豚类和野生动物研究及保护领域富有经验的专家和同行，以及政府有关机构的官员，对我们提出的“建立长江天鹅洲白鳖豚半自然保护区可行性论证报告”，进行评议和审查，会上一致认为，天鹅洲自然环境优越，水质洁净，作为白鳖豚食物的鱼类资源丰富，人类活动干扰少，在这里建立白鳖豚半自然保护区既必要又可行，是一项很有希望的白鳖豚保护措施(图版Ⅵ，A)。

从 1989—1991 年，我们进一步作了补充工作，试引进江豚，观察它们适应的情况，结果较为理想，为此，中国科学院水生生物研究所已将在湖北天鹅洲建立白鳖豚半自然保护区的规划，上报国家，得到国家科委、农业部、国家环境保护局的重视与肯定，并拨款实施，我们非常乐观地预计第一个国家级的白鳖豚保护区不久即将实现。

1984 年安徽省开始在长江下游建立了一个白鳖豚养护场(图 8-3)。经过调查研究，确定在铜陵市附近江段中以和悦洲与铁板洲之间的夹江为基地，该夹江长 1 550m、宽 220m，夹江水容量约 530 000m^3，洪水季节可达 1 590 000m^3，计划是：① 清疏夹江，挖除江底泥土加深 3m，并加高两岸江堤，要求枯水季节时水深保持 3m 左右；② 进出口修建拦栅；③ 在和悦洲上建造一个提供白鳖豚饲料鱼的大规模养殖场；(4)在铁板洲上建造包括白鳖豚饲养池(直径 16m，深 3m)、治疗池(直径 9m，深 1.5m)、实验室以及生活住房的系列建筑(图 8-3)。

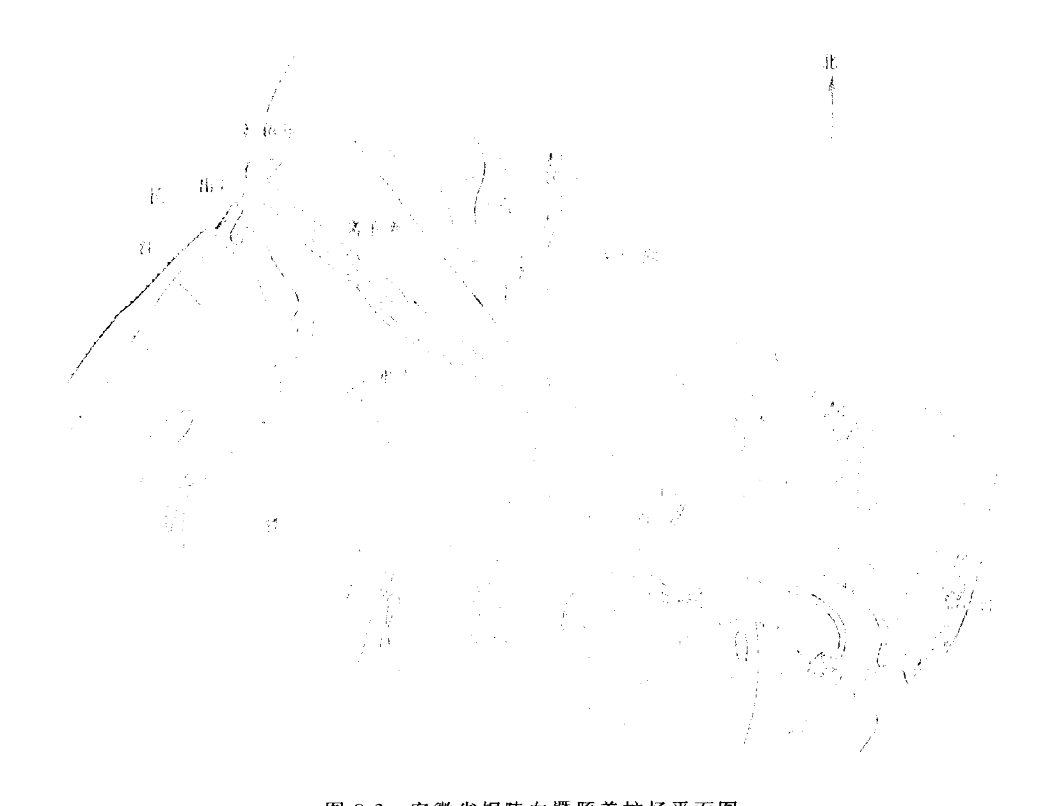


图 8-3 安徽省铜陵白鱀豚养护场平面图
Fig. 8-3 Map of the Tongling *Lipotes vexillifer* Rearing and Protecting Farm

建设规划已由国家环保局批准，并拨给了经费，1986 年正式开始施工，1995 年饲养池和实验室已竣工，其他设施正在进行中，根据计划，此基地建成后可以养护 10—15 头白鱀豚(周开亚，1989; Zhou, 1989)。

二、建立长江白鱀豚自然保护区

在野生动物栖居活动密集的区域建立自然保护区，这种原地保护是动物保护措施中的一种形式。分布在印度河的印河豚(*Platansita minor*)，由于印度河上建立了许多大小水坝和堤堰，影响了印河豚的生存，数量减少，巴基斯坦采取了在印度河上建立自然保护区的办法，并在保护区设立执法机构。据科学家统计，从 1974 年的 138 头，到 1986 年增加到 429 头，取得显著成效。

1. 保护江段的选定

中国科学院水生生物研究所通过多年在长江中下游考察，认为在中游湖北省洪湖江段新滩口至螺山(135km)及下游安徽省安庆东段安庆至黑沙洲(120km)两个江段建立白鱀豚自然保护区是合适的，其理由如下：

这两个江段河谷开阔，坡降缓和，河道迂回曲折，沿江形成冲积平原，有多条支流和湖

泊与之相通，江心洲发育，江心洲和边滩的缓流水区和夹堰水区较长，有丰富的鱼类资源，是白鱀豚理想的自然生境。这两个江段的长度约占中下游干流总长的1/5，白鱀豚在这里的分布较为密集且稳定，在10多年来的生态考察中，所见到的较大群体，多出现在洪湖江段。此外，还有一个优越因素，在这里培养了一批热心护豚的渔民，他们有护豚的科普知识和热情，这是搞好白鱀豚自然保护区的重要力量（见图5-1）。

2. 实施方案

① 设立自然保护区的管理机构，配备一定数量的护豚管理人员，对这些人员进行培训；
② 配备巡逻艇及必要的仪器设备；
③ 制订保护区的保护条例；
④ 筹集经费，除一次性投资外，还需每年维持费。

3. 制订保护条例

保护条例的内容应包括下列几点：
① 坚决制止捕杀白鱀豚的违法行为；
② 坚决取缔电捕鱼、炸鱼、滚钩等有害渔具渔法，革新渔具，用对白鱀豚无害的作业方式取代有害渔法；
③ 禁止在白鱀豚交配、产仔期及白鱀豚经常活动的水区捕鱼作业；
④ 来往船只进入保护区应减速，遇到豚群要回避；
⑤ 加强对保护江段的巡逻，遇到误伤的白鱀豚，应及时进行抢救、护养、治疗，愈后放回长江；
⑥ 加强科普教育，对象主要是长江作业的渔民和船员。

中国科学院水生生物研究所于1985年提出了“关于在湖北新滩口—螺山和安徽安庆—黑沙洲江段建立白鱀豚自然保护区的报告”，报告中阐述了在这二个江段建立自然保护区的科学依据，以及具体实施方案。1990年4月我们再次向国家提出“关于在湖北新滩口—螺山江段建立白鱀豚自然保护区的报告”。认为首先在该江段试行，探索经验，以便推动长江中下游白鱀豚的保护工作，这项建议已获得国家环保局、农业部的支持与同意，并拨款进行筹建，1991年第一个国家级长江新螺白鱀豚自然保护区正式成立。

三、人工饲养与繁殖保护

这也是动物易地保护形式之一，工作内容就是采取人工饲养白鱀豚的方法，建立白鱀豚的基因库，保存其种质资源。

我们第一步的目标，即是把野生的白鱀豚移到人工环境条件下养护起来。人工饲养鲸类的历史，以及白鱀豚饲养技术和经验，已在第七章作了详细的论述，实验研究的结果证明是可以取得成功的。

第二步的目标是在人工饲养条件下进行自然繁殖或人工繁殖，这也是目前科研人员竭尽全力工作的方向，现在中国科学院水生生物研究所采取了以下步骤：

① 改善饲养条件，中国科学院给予了较大投资，同时亦以国际合作形式，取得国外资助。这里特别值得提出的是日本政府和江之岛水族馆给予了我们设备上的帮助，加快了较为现代化的白鳖豚馆的建成（详见第七章）。

② 训练雄豚“淇淇”，采用了操作条件作用(operant conditioning)，要求“淇淇”完成规定动作，因为这些动作是完成人工采精操作的基本步骤，到目前为止，已通过 Bridge 信号建立了训练员和白鳖豚之间的通讯联系，“淇淇”能以侧身、仰卧、暴露阴茎等动作回应训练员的指令，下一步的工作是继续进行训练，这项工作一旦取得成功，白鳖豚的精子库便可建立。

③ 研究白鳖豚雌雄性激素变化规律，1988—1990 三年来对“淇淇”的血清睾丸酮(serum testosterone)的水平作了连续监测，显示出 T 水平有明显的周期性变化，同时对雌性珍珍的性激素也作了测定，这些数据将为监测白鳖豚性腺发育状况，开展人工繁殖提供依据。

四、加强白鳖豚保护生物学的科学研究

野生动物的保护在当前已是热门话题，已广泛引起人们的注意，从事这方面科研工作的科学家逐渐增多，研究的内容也愈广泛，研究的手段也越先进，当前保护生物学已独树一帜成为一门新兴的学科。周开亚(1991，1992)对国际保护生物学的发展趋势及我国近期的发展战略作了一个较详细的报道。自 1978 年在圣迭戈大学举行了第一届保护生物学国际会议后，1986 年正式成立了保护生物学会(Society for Conservation)，1987 年学会创刊《保护生物学》(Conservation Biology)杂志。现在从事这方面工作的科学家们越来越明确了保护生物学的目的与内容，研究目的是研究保护物种、保存生物多样性及持续利用生物资源的理论和技术，研究内容就是围绕这三方面进行工作，逐渐在研究发展中完善保护生物学的理论和方法。

白鳖豚保护生物学的研究，10 多年来我们基本上是围绕这些方面进行工作的，其中大量的基础工作(Chen 1986, Chen and Liu, 1992)为白鳖豚的种群数量监测、栖息地保护、迁地保护以及人工饲养和繁殖等科研工作，在前面章节中都作了较为详细的介绍。

1993 年 6 月 1—4 日，国际自然保护联盟-濒危物种委员会(IUCN-SSC)下属饲养繁殖专家组(CBSG)及鲸类专家组(CSG)在南京召开“白鳖豚种群生境生存力评价学术讨论会”(Population and Habitat Viability Assesment，简称 PHVA)，这次会议为我国野生动物保护生物学的发展起了极大的推进作用(Zhou *et al.*, 1994)。

分析一个物种的种群生存力 PVA，是物种复壮(species recovery)中的一项重要工作，它是估测一个种群在未来特定时期内保持生存的可能性。张先锋等(1994)根据学术讨论会上的论证及所掌握的资料，试图使用漩涡模型(VORTEX model)进行白鳖豚种群生存力分析，研究结果表明，在未来 100 年内，白鳖豚在高、中死亡率的条件下，种群灭绝概率分别为 1.0 和 0.5 左右，如在死亡率极低的条件下，灭绝过程可能持续 100 年以上。但从多年调查掌握的资料来看，白鳖豚的死亡率是较高的，极有可能在 1 龄时死亡率达 50%—60%，根据模型预测结果，若不立即采取有效保护措施，白鳖豚在长江近几十年就会灭绝。他们的工作，为我国受胁动物的 PVA 提出了首次报道，使受胁动物白鳖豚的保

护生物学的研究迈进了一个新的阶段。

今后在白鳘豚保护生物学方面,我们需要进一步加强以下的科研工作:

1. 白鳘豚种群复壮的研究

(1) 人工饲养下繁殖技术的研究　　在人工饲养条件下,继续摸清白鳘豚的生殖规律,搞好精液保存、争取早日获得配对白鳘豚,进行自然受精和人工受精,配子保存,胚胎移植等,建立白鳘豚细胞库。

(2) 白鳘豚迁地保护的研究　　尽快地把长江白鳘豚迁入长江天鹅洲白鳘豚半自然保护区,并从养护管理、遗传管理和物种的种口管理三方面做好养护种群的管理工作,使白鳘豚能在保护区内生长繁殖,建立半自然水体白鳘豚养护种群。

2. 开展白鳘豚声呐系统机制的研究

要更进一步地深入研究白鳘豚声呐系统,并应着重研究螺旋桨击毙白鳘豚的机制,以减少白鳘豚的死亡率。

3. 引进现代先进方法和技术,加强人才培养

引进和掌握动物保护生物学的现代先进方法和技术,加快培养保护生物学的研究人才。

五、开展保护白鳘豚的科普教育

科普宣传教育是动物保护中一项必不可少的工作,这项工作做得愈是丰富多彩,愈是深入人心,可获得全球人人都来关心的效果。10 多年来我们在这方面做了大量工作,所采取的形式有以下几种:

1. 撰写科普文章,在报刊杂志上发表

从 1980 年开始,我们在报纸上以及《中国建设》、《大自然》、《自然杂志》、《中国水产》、《人民画报》、《湖北画报》等多种杂志和画报上发表了 20 多篇有关白鳘豚的文章,从不同角度把保护白鳘豚的知识介绍出来,获得良好效果。

2. 采用影视片进行直观教育

1981—1982 年我们配合上海科学教育电影制片厂,摄制了我国第一部《白鳘豚》科教片。中国科学院水生生物研究所科技人员自己摄制了 3 部录相片,第一部《白鳘豚》,以人工饲养“淇淇”为主,介绍了白鳘豚的形态特征及生活习性,该片 1981 年曾带到英国,在国际捕鲸委员会年会上播放,引起鲸类学家们的兴趣与关注。第二部是在 1986 年,由中国科学院水生生物研究所、湖北省科学技术协会及湖北省环境保护局三个单位共同完成的《长江瑰宝——白鳘豚》,用中、英文解说,在武汉召开的《淡水豚生物学及保护》国际学术讨论会上播放,该片获 1989 年全国环境保护优秀电影电视片二等奖。第三部是反映中国科学院水生生物研究所 12 年来对白鳘豚研究的成果,题为《白鳘豚》,该片参加中国科

学院科技声像情报网科技录相片评选，获三等奖。

3．在博物馆中展出白鳘豚标本

中国科学院水生生物研究所提供了北京自然博物馆、上海自然博物馆、天津博物馆及大连博物馆白鳘豚剥制标本各一头。使人们能见到白鳘豚的形象和增加对白鳘豚的认识。

4．开放白鳘豚人工饲养馆

中国科学院水生生物研究所白鳘豚研究基地，饲养着目前世界上唯一人工豢养的一头雄性白鳘豚“淇淇”。常年对国内外开放，平均每年有5 000人次前来参观。上至国家领导，下至中小学生，以及来武汉参加学术会议的科学家和旅游者。目前一个较为现代化的白鳘豚馆已建成，使这里不仅是一个能接纳国内外学者共同研究白鳘豚的基地，同时也是一个宣传教育的展览馆。

5．图片、邮票、连环画及其他宣传品

(1) 发行《白鳘豚》邮票一套　　1980年由中国科学院水生生物研究所提供资料，邮票设计师刘硕仁设计一套2枚的《白鳘豚》悠然自得及环游潜底8分和60分邮票，由北京邮票厂发行，向国内外作了广泛宣传(图版 XXXVI，上)。

(2) 制作图片一套　　1984年由湖北省国营铁木家俱厂、群益服装厂、第三针织厂和生物化学制药厂等四家以白鳘豚作为商标产品的厂家资助，中国科学院水生生物研究所负责设计出版的一套8张明信片，并附有中、英文的白鳘豚简介。1985年由中国科学院水生生物研究所提供白鳘豚照片，安徽省环境保护局负责印刷的白鳘豚宣传画，分发到长江中下游沿江市县有关单位及渔民。1990年南京师范大学取得世界基金会资助，印制一宣传画及介绍白鳘豚的小册子。

(3) 连环画一本　　采用白鳘豚“淇淇”自述的方式，将白鳘豚的生活情况介绍出来(陈佩薰等，1996)。

中国科学院水生生物研究所还设计制作了2万枚带有白鳘豚图像的钥匙链和白鳘豚T恤衫2 000件，这些都为动物保护工作者所喜爱(图版 XXXVI，中、下)。

我国珍稀水生哺乳动物白鳘豚，已由过去知之甚少，经过10多年的工作，现已广为人知了，当前已掀起一个人人都来关心白鳘豚，人人都来保护白鳘豚的高潮，让我们的国宝白鳘豚在美丽富饶的长江，世世代代地繁衍下去。

参　考　文　献

王骥、梁彦龄，1988，长江中游(武汉江段)浮游藻类的季节动态，长江流域资源、生态、环境与经济开发研究论文集(一)，1：258—265。

王骥、梁彦龄，1988，葛洲坝库区浮游藻类的生态特点，长江流域资源、生态、环境与经济开发研究论文集(一)1：276—281。

王骥、王建、林列旌，1988，武黄湖与马口湖浮游藻类生态特点及鲢鳙生产潜力的估算，长江流域资源、生态、环境与经济开发研究论文集(一)，1:290—295。

王丁，1994，白鳘豚的保护：威胁和问题，Baiji PHVA Workshop Report. 17 Nov. 1994. Nanjing，151—165。

华元渝、陈佩薰，1992，葛洲坝枢纽建成后宜昌—城陵矶河段变化对白鳘豚影响的调查，水产学报，16(4)：322—329。

华元渝、徐新民、章贤，1992，白鳖豚濒危现状及保护对策，兽类学报。
刘建康主编，1990，东湖生态学研究（一），中国科学院东湖生态系统试验站文集，科学出版社，76—166，167—197。
刘仁俊，1980，白鳖豚的生态适应与资源保护，水产科技情报，5：18—19。
刘仁俊，1991，从国际鲸类研究看白鳖豚保护面临的形势和任务，环境科学与技术，4：41—44。
陈佩薰、华元渝，1987，三峡工程对白鳖豚的影响及物种保护，长江三峡工程对生态与环境的影响及对策研究论文集，科学出版社，30—41。
陈佩薰，张先锋，1991，五年来豚类研究与保护工作的进展，湖北省动物学会1991年研讨会论文集。
陈佩薰，张先锋，魏卓、赵庆中、王小强、张国成、杨健，1993，白鳖豚的现状和三峡工程对白鳖豚的影响评价及保护对策，水生生物学报，17(2)：101—111。
陈佩薰、赵嘉骏，1996，白鳖豚“淇淇”的故事，海洋出版社，北京。
陈宜瑜，1990，淡水生态系统中的若干生物多样性问题，生物科学信息，2(5)：197—200。
林克杰，1980，白鳖豚的资源现状及其保护问题，湖北环境保护，2：16—18。
林克杰、陈佩薰、华元渝，1985，白鳖豚种群数量及资源保护，生态学报，59(1)：77—83。
杨健，1991，从生物多样性论白鳖豚的保护，环境科学与技术，61(2)：40—42。
杨健、陈佩薰，1994，围养条件下江豚的斗争行为，南昌大学学报（理科版），18(3)：263—266。
杨健，张先锋，魏卓，王小强，陈佩薰，1995，湖北天鹅洲故道试养江豚生活习性的初步研究，兽类学报，15(4)：254—258。
张先锋，1994，白鳖豚种群现状及保护，Baiji PHVA Workshop Report 17 Nov, 1994, Nanjing：61—68。
张先锋，1995，长江水生动物保护生物学的现状与未来（手稿）
张先锋、王丁、王克雄，1994，漩涡模型及其在白鳖豚种群管理中的应用，生物多样性，2(3)：133—139。
张先锋，魏卓，王小强，杨健，陈佩薰，1995，建立长江天鹅洲自然保护区的可行性研究，水生生物学报，19(2)：110—123。
周开亚，1989，白鳖豚及其保护，动物学杂志，24(2)：31—35。
周开亚，1991，受胁动物的等级审定，动物学杂志，26(5)：56—59。
周开亚，1992，保护生物学的发展趋势及我国近期的发展战略，动物学杂志，27(5)：42—48。
段文忠，1989，湖北石首长江天鹅洲故道演变分析，武汉水利电力学院河流泥沙研究室（调查报告）。
梁彦龄、王骥，1988，长江三峡未成水库库区水生生物学的研究，长江流域资源、生态、环境与经济开发研究论文集（一），1：290—295。
魏卓、杨健、张先锋，天鹅洲故道围拦试养江豚（初搞）。
Baiji Research Group, 1989, A proposal for establishment of a semi-natural reserve of Shishou for conservation and management of the Baiji, Occasional papers of IUCN/SSC, 3：21—22.
Chen Peixun, 1986, Research on the Chinese River Dolphin in P. R. China, Advances in Sci. of China(Biology), 1：173—230.
Chen Peixun and Hua Yuanyu, 1989, Distribution, population size and protection of *Lipotes vexillifer* Occasional papens of IUCN/SSC, 3：81—85.
Chen Peixun, Zhang Xianfeng and Wang Ding, 1992, Conservation of the endangered Baiji, *Lipotes vexillifer*, China, In: Proceedings of the 23rd Annual IAAAM Conference, Hong Kong, 2—10.
Perrin W. F. *et al*. (Ed), 1989, Biology and conservation of the river dophins, Occassional Papers of IUCN/SSC, No.3.
Ralls K., 1989, A semi-captive breeding program for the baiji genetic and demographic considerations, Occassional Papers of IUCN/SSC, No.3：150—156.
Zhou Kaiya *et al*. (compiled and Ed), 1994, Baiji Population and Habitat Viability Assessment Report, 17 Nov. 1993, Nanjiang.

第九章　长江中与白鱀豚共同生活的江豚

江豚(*Neophocaena phocaenoides*,英文名 finless porpoise)是广泛分布于中国、南朝鲜、日本、印度、巴基斯坦、爪哇群岛、波斯湾沿岸海域的一种小型齿鲸。此外,我国的长江中下游,鸭绿江下游和珠江下游均有江豚的分布。

这里,我们将江豚的有关研究结果汇拢来,自成一章,因为长江中下游仅仅生活着白鱀豚和江豚这两种水生齿鲸。长江中下游的江豚构成了白鱀豚生存环境中的重要生物环境之一。它们两者在长江中共同生活,关系密切。为此,在本章除介绍江豚外,还将讨论白鱀豚和江豚之间的关系。

江豚在我国古代文献中的记载最早见于 1 800 年前的东汉时期。历代记录江豚的名称达 13 个之多。自 1829 年江豚被科学命名以来,已发表有关江豚的论文、论著百余篇。涉及形态解剖、遗传、生化、寄生虫、生态、保护、饲养、声学、分类等各个方面。其中以形态学研究为最多。从本世 20 年代,秉志报道江豚的解剖、生殖器官研究开始,到 70 年代末开始大量形态学工作,目前已对江豚的大多数器官系统作了解剖学和组织学层次的研究。分类学研究方面,自江豚命名后,1964 年有人提出不同地区江豚的颅骨差异以来,Pilleri 等、Kataoka 等、王丕烈等、高安利等根据江豚的骨骼形态等方面的差异提出过 2—3 个亚种、数个地理群等认识,但目前尚未统一认识。遗传和生化方面的研究工作还有待深入。野外生态学研究在 80 年代至 90 年代初得到了前所未有的重视和发展。但野外工作方法有待改进,有待应用现代技术以使野外工作定量化和模型化。江豚保护生物学研究始于 90 年代,江豚在长江中下游的种群数量、生长、社群结构、栖息地特征、威胁因素等正在被研究,有的已取得一定进展。饲养学方面,日本学者已有大量研究报道,但在我国还起步不久。此外,在江豚的声学、行为学、生理学等方面也开展了一些工作。

一、我国古代对江豚的记载

高安利等(1993)详细考证了我国古代对江豚的记载。

我国古代关于江豚的记载最早出现在东汉许慎(公元 58—148 年)所著的《说文解字》。书中曰:"鰰,鰰鱼也。出乐浪潘国。从鱼,匊声。一曰鰰出九江。有两乳。一曰溥浮。"乐浪即今之朝鲜,九江指长江鄱阳湖至洞庭湖一带,包括各支流。由此可见古人认识江豚是从朝鲜和长江中游的江豚开始的。

魏张揖(公元 227—232 年,任官职期间)将当时的江豚名收入《广雅》曰:"鱄鯚,鰰也。"到了晋代,郭璞(公元 276—324 年)在《尔雅注》中,对《尔雅》中的"鱀是鱁"作注道:"鱀,鰽属也。体似鱏,尾如鰰鱼。大腹,喙小,锐而长。齿罗生,上下相衔,鼻在额上,能作声。少肉多膏。胎生。健啖细鱼。大者长丈余,江中多有之。"这里已经用江豚注释白鱀豚的尾型。郭璞还在《江赋》中写道:"鱼则江豚海狶叔鲔……。"这是"江豚"一词在文献中的最早出现。同时,它还说明江豚与海狶不是同一种动物。房玄龄(公元 579

一 648 年)等在《晋书·隐逸传·贾统》中写有："(统)初作鳝鹄跃,后作鱄鲟引。"唐皮日休在《沪》中写有："涛头倏尔过,数顷跳鱄鲟。"由此可见,当时江豚很多,人们对其行为已有一定的认识。

南朝梁的在顾野王(公元 519—581 年)所著的《玉篇》中曰："鱄鲟鱼,一名江豚,欲风则踊。"《南方异物志》谓其水猪又名馋鱼,宋代孔武仲(公元 1044—1101 年)写了一首《江豚诗》道："黑者江豚,白者白鳖,状异名殊,同宅大水。渊有群鱼,掠以肥己。"该诗还细述了人们利用白鳖豚和江豚的活动预测风雨的情形(见蒋廷锡·《古今图书集成》)。

清代段玉裁(公元 1735—1815 年)在《说文解字注》中写道："……溥浮俗字作鱄鲟,普姑覆浮二反。鱄一作鳍,吴东门谓鳍鲟门,即今苏州葑门也。"可见当时人们不但对江豚很熟悉,而且曾经用其名给城门命名。

清代王念孙(公元 1744—1832 年)在所著《广雅疏证》中对江豚的名称作了更为详细的考证。引证了自《说文解字》以来十余部书中关于江豚的记载。其中既有形态也有行为的描述,如《魏武四时食制》曰："鲟鲈鱼,黑色,大如百斤猪,黄肥不可食。数枚相随,一浮一沉,一曰敷。常见首出淮及五湖。",可见魏时除长江流域几大湖泊外,淮河中亦有江豚。

概括起来,古文献中记载江豚所用的名称有：鲰、鲰鱼、溥浮、鱄鲟、鳍鲟、江豚、鲟鲈、水猪、馋鱼、敷、鲈鱼、江豘、江猪等。

二、江豚的体色和外形

江豚体形较白鳖豚稍小。头部钝圆,没有像白鳖豚一样的长吻(图 9-1),口小,上下颌着生有约 70 颗左右的铲形小齿。江豚无背鳍,背部正中有数目不等的小棘。尾鳍水平,内无硬骨,鳍肢内具完整的指骨和掌骨。成年江豚体长一般 130—160cm。不同地方江豚的体色有所不同。长江的江豚呈深蓝灰色,死后不久变为蓝黑色。沿海的江豚体色为灰色,死后不久为灰蓝色。我们曾于 1985 年 5 月在崇明岛东部沿海同时收到两种不同体色的江豚(图版 XXXV,A)。



图 9-1　江豚

Fig. 9-1　*Neophocaena phocaenoides*

三、江豚的分布

1. 分布范围

江豚分布于亚洲热带和亚热带沿岸海域和一些河流中。北至日本太平洋沿岸、日本海、濑户内海、朝鲜沿岸海域。南至印尼的爪哇群岛北部。西至波斯湾沿岸均有江豚的分

布。在我国,大陆、台湾沿岸海域及通江的江河和河口地区如鸭绿江下游,长江中下游、钱塘江等处均有分布。在长江江豚分布于宜昌以下约 1 700km 的江段中,可进入洞庭湖甚至上逆湖南湘江,也进入鄱阳湖及与之相连的赣江达 70km(南昌以上),还从鄱阳湖进入另一支流信江上溯 100 余 km。另据访问,长江最大的支流汉江 60 年代前也有江豚分布。黄浦江苏州河口处至 1995 年一直有江豚分布。

2. 分布型式

张先锋等(1993)在 13 次长江中下游干流考察中,抽取 3 次考察方法相同、航速接近(50—60 km/d)共 52 天的考察资料,把每天观察到的江豚数目(sightings per unit of effort SPUE 值)逐日统计,其平均数 m 为 8.42,S^2 为 91.3,s^2/m 等于 10.81,明显大于 1,属于负二项式分布(negative binomial distribution)。这意味着江豚在长江干流纵向呈非均匀的、集群性分布(clumped)。另一方面,还统计了 244 头江豚出水时距岸边的距离,江豚出现的频率与出水时离岸的距离呈指数关系($Y = aX^b$,Y 为出现率,X 为离岸的距离),相关性极显著(图 9-2)。约有 56% 的江豚出现在离岸 100m 以内,78% 出现在 200m 以内,83% 出现在 300m 以内,92% 出现在 400m 以内,而离岸 500m 以外的仅占约 4%。这意味着江豚是岸边活动的豚类,即江豚在长江中下游横向呈趋岸性分布。

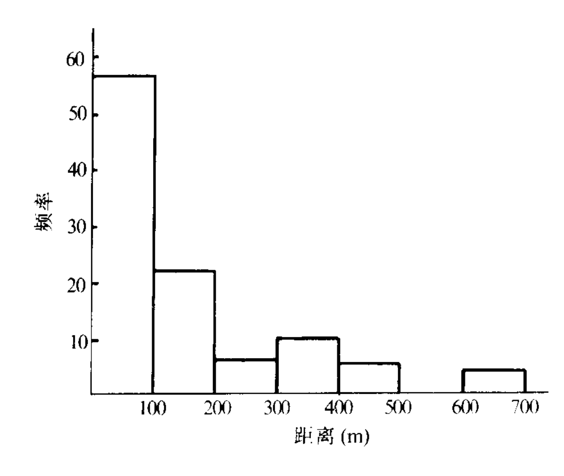


图 9-2 江豚露出水面时离岸的距离与相应频率

Fig. 9-2 The distance off the bank where the surfacing occurs and Its corresponding frequency

3. 栖息地特征

长江中下游沿线有众多的支流和湖泊汇入长江,河道曲折迂回,江面宽阔,边滩及江心洲发育完善。在支流湖泊与长江的汇合处、弯曲河段、江心洲头尾,常可见到江豚出没。张先锋等(1993)统计了 20 个群体共计 1 012 头江豚出现的地点,综合考察了这些地点的环境特征(表 9-1)。可以看出,长江中下游的黑沙洲、学文洲、骨牌洲、鄱阳湖口、新滩口、复兴洲、小清河口(赤壁)、洞庭湖口等江段,江豚出现频率远高于其他地方。这些地方就是江豚的栖息地,其环境大多具有以下特征:① 位于支流、湖泊出水口与长江的交汇处或洲滩附近,河道常弯曲;② 水流速度相对缓慢,流速一般为 0.3—0.5m/s;③ 多存在两股以上不同流速,不同流向的水流,从而形成大回水区和夹堰水区;④ 水深一般 4—20m,河床坡度平缓;⑤ 底质为淤泥,有机物质丰富,水中浮游生物量较大;⑥ 常见大群小型鱼类;⑦ 空中常有成群或单个鸥鸟,附近洲滩边有大群野鸭、鹭等鸟类;⑧ 附近作业渔具以小型刺网和迷魂阵居多;⑨ 沿岸植物茂盛。不同季节,随着水文条件的变化,江豚栖息地会有移动、变形、增大、缩小、产生或消失。

表 9-1　江豚集群规模超过 20 头的大群统计

Table 9-1 Statistics of group size over 20 individuals of *Neophocaena phocaenoides*

序号 No.	日期 Date	江段 Section	距河口距离 Distance from the estuary(km)	头数 Individuals of porpoise	环境特征简述 A brief introduction of the environmental characteristics
1	1991.04.05	黑沙洲 (Heishazhou)	480	23	河道弯曲分叉、河段膨胀、洲滩发育好，水流平缓，副航道内船只不多，小型鱼类较多 The river broadens out and meanders. Banks developed. Current flows gently with a few boats and relatively abundant small fish
2	1991.01.19	学文洲 (Xuewenzhou)	660	41	
3	1989.12.10	骨牌洲 (Gupaizhou)	720	29	
4	1985.01.19	八里江 (Balijiang)	765	39	张家洲把长江分为南北二个水道，加上鄱阳湖出口和八里江口四口相汇，是迄今记录到的江豚最大群体集结的地方 There are many tributaries in the section The largest groups were found here so far
5	1989.12.10	张家洲 (Zhangjiazhou)	766	72	
6	1989.12.11	湖口 (Hukou)	768	87	
7	1989.12.11	湖口 (Hukou)	768	64	
8	1990.12.05	新滩口 (Xintankou)	1 124	39	内荆河与长江交汇处，河道极度弯曲，边滩发育良好，鱼类资源丰富，迷魂阵密 The river meanders extremely with abundant fish resources and multiple trapnets
9	1990.12.06	新滩口 (Xintankou)	1 124	63	
10	1990.12.07	新滩口 (Xintankou)	1 124	77	
11	1990.12.08	复兴洲 (Fuxingzhou)	1166	31	河道膨胀加宽，江心洲发达，夹江发育良好，水流缓慢 The river broadens out. Banks and bars developed
12	1990.04.18	护县洲 (Huxianzhou)	1 179	25	
13	1990.12.04	赤壁 (Chibi)	1 207	36	小清江河与长江交汇处，边滩发达，水草生长茂盛 Bars developed. Plants and aquatic grass grow well
14	1990.12.09	赤壁 (Chibi)	1 207	42	
15	1989.02.28	城陵矶 (Chenglingji)	1 275	40	洞庭湖与长江交汇处，江段弯曲，边滩发达，湖水与江水的流速、流态不同，形成大面积的夹堰水区和回水区，鸟的种类、数量多，鱼类资源丰富、渔船密度大 The section is where the Lake Dongting drains into the Yangtze River, which meanders with large return current, eddy rich in fishing resources and many fishing boats. Banks developed. There are a large number of birds
16	1990.03.07	城陵矶 (Chenglingji)	1 275	23	
17	1990.04.01	城陵矶 (Chenglingji)	1 275	20	
18	1989.03.14	城陵矶 (Chenglingji)	1 277	30	
19	1990.03.18	城陵矶 (Chenglingji)	1 277	20	
20	1988.12.16	城陵矶 (Chenglingji)	1 280	20	

四、江豚的形态解剖学

自本世纪20年代秉志(Ping, 1925)首先开展江豚的解学研究，报道了江豚的骨胳研究结果以来，特别是70年代以后，国内外学者在江豚的形态解剖学方面开展了大量系统的研究，研究内容涉及到呼吸、消化、听觉、视觉、生殖、神经、排泄、皮肤等系统、器官和组织。江豚形态解剖学研究的文献累计已达40余篇，成为有关江豚研究文献最多，最为活跃的一个领域。受篇幅所限，这里不展开论述。有兴趣的读者可进一步查阅有关文献资料。

五、江豚的年龄、生长与生殖

张先锋(1992)、高安利等(Gao *et al.*, 1993)、Shirakihara等(1993)系统研究了利用牙齿鉴定江豚的年龄及江豚的年龄与体长的关系、生长与生殖的关系。

1. 齿质结构及生长层组的定义

江豚上下颌着生着约70颗左右的 小牙齿，齿长6—13mm，齿径2—3.5mm。江豚齿的纵切面为铲形，在透射光下观察，几乎透明的婴儿线(neonatal line)把齿质分为先天齿质(prenatal dentine)和后生齿质(postnatal dentine)两部分。后生齿质内层次清楚，是鉴定年龄的主要部位(张先锋，1992)。江豚的牙骨质(cementum)内亦有层次并与后生齿质内的层次基本对应(Shirakihara *et al.*, 1993)。髓腔(pulp cavity)随年龄的增长而逐渐缩小，直至完全封闭。老年个体的牙冠磨损严重。后生齿质内一个生长层组(GLG)用透射光观察有十分明显的特征(张先锋，1992)(图9-3，图版XXXV，C、D)。

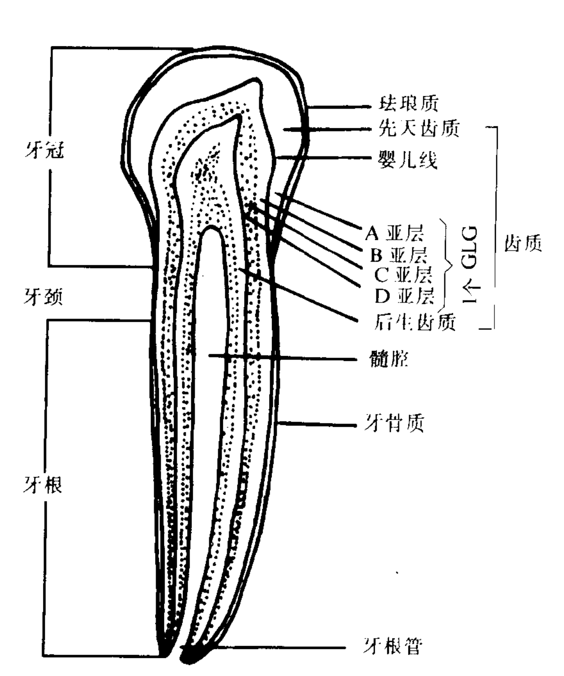


图9-3 江豚齿质生长层组的结构与定义

Fig. 9-3 Structure and definition of GLGs in the postnatal dentine of *Neophocaena phocaenoides*

A亚层：着色很淡(几乎未着色)，半透明稍宽的白色层；B亚层：稍窄，中度着色的半透明蓝色层；C亚层：稍宽，轻度着色的半透明淡蓝色；D亚层：深着色，最窄的深蓝色层。

2. 生长

根据52头江豚的体长和年龄资料，按双对数配合，拟合出江豚生长的幂函数关系式(♂≤13龄，♀≤16.5龄)为：

$Y_{♂} = 114.4458X^{0.1410}$ ($n = 24$, $r = 0.7689$)

$Y_{♀} = 116.2519X^{0.0947}$ ($n = 28$, $r = 0.8254$)

相应的江豚生长曲线如图 9-4。

从图 9-4 可以看出，江豚在 4—5 龄以前体长生长较快，此后明显减慢。高安利等(1993) 通过 169 头取自长江、黄海、南海的标本研究，Shirakihara 等(1993)通过取自日本九州岛沿海 97 头标本的研究，均得出与上述极为相似的结果。迄今为止，收到年龄最大的雌性江豚为一体长 1.62m，鉴定年龄为 25 龄的个体。雄性为一体长 1.92m，鉴定年龄为 24 龄的个体。另外，江豚出生时平均体长约 70cm。姜新发(1991)研究了江豚胎儿的生长，即胚胎发育情况。胎儿体长与体重的关系式为：$W = 0.0305L^{2.7983}$ ($n = 16$, $r = 0.9944$)。他还从理论上推算长江江豚胎儿生长速度约为 9.1cm/mon.(0.303cm/d)。相应地，体长与妊娠时间(d)关系式为：

$$L = 0.303(Tg51)$$

式中　L 为体长(cm)；Tg 为妊娠时间(d)。

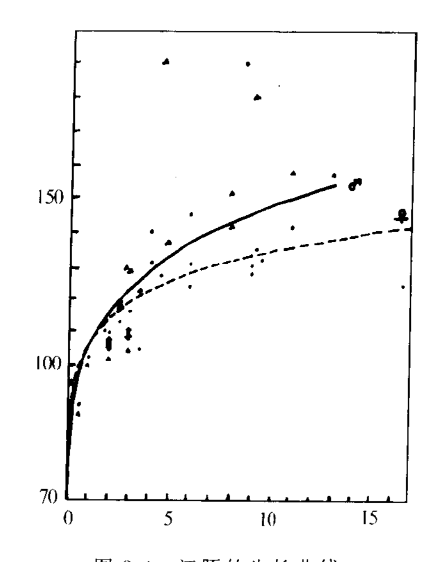


图 9-4　江豚的生长曲线

Fig. 9-4　The growth curve of *Neophocaena phocaenoides*

3. 生殖

(1) 性成熟　　通过对 19 头江豚精巢重量测量和组织切片观察，雄性江豚在 4—5 龄间、体长达 1.4m 左右时，精巢重量有突然的增加(张先锋，1992)。高安利等(1993)和 Shirakihara 等(1993)报道了类似的现象。这种突然增加重量数倍至十数倍的精巢显然是成熟的(Chen *et al.*, 1982)，大于 4—5 龄的个体，精巢重量持续增长，未见季节差异。小于 4—5 龄的精巢经组织切片，均未发现成熟的精子。因此，推测雄性江豚的性成熟年龄为 4.5 龄，相应体长约 140cm。通过对 21 头雌性江豚卵巢发育的研究，观察卵巢上黄白体数目，并结合妊娠状况推算，雌性江豚的性成熟年龄为 4 龄，相应体长约 133cm。高安利等(1993)经过进一步比较发现，南海江豚精巢的发育较早、较快。南海江豚的最低性成熟年龄为雄性 4 龄，雌性 5 龄，而黄海江豚的最低性成熟年龄雄雌均约 5 龄。他们认为，江豚达性成熟年龄的个体差异较大，黄海江豚最大雄性达 8 龄，雌性达 10 龄 才成熟。长江江豚雌性也有最大达 7 龄方成熟的个体。姜新发(1991)分别比较了江豚精巢重量与出生前后体长的关系，认为出生前呈直线关系，出生后呈指函数关系，关系式分别为：

(胎儿) $Y = -24092 + 0.01189^{X}$ ($n = 6$, $r = 0.9885$)

(出生后) $Y = 0.0170e^{0.0606X}$ ($n = 25$, $r = 0.9066$)

Y 为精巢重(g)；X 为体长(cm)

(2) 交配和分娩季节　　根据我们收到的 16 头胎儿标本，按幼儿出生时的平均体长为 70cm(Chen *et al.*, 1982)，妊娠期为 11 个月(Kasuya *et al.*, 1979)的观点，用对数分割法推算，长江江豚的交配发生在 2 月下旬至 6 月中旬，其中大部分发生在 3—5 月。黄海江豚 9—10 月亦有可能交配。江豚的分娩高峰多在 2—4 月(张先锋，1992)。高安利等(1993)报道，南海江豚的分娩季节为 6 月至次年 3 月，高峰出现在 8—12 月，而长江和黄

海江豚的生殖高峰出现在4—5月。另据我们在长江考察发现,江豚的交配、抚幼行为几乎全年可见,由此推测,长江江豚的交配和分娩季节比目前估计的要广。

(3) 生殖率　1984年12月在洞庭湖捕到一个完整的江豚群体共计24头,其中雌体16头,成熟雌体7头,妊娠雌体5头,妊娠率为71%。假如这5头胎儿都能正常娩出,这个24头群体将增加5头,粗略估算年生殖率约为20%。后来,从另一角度推算出相似的结果(张先锋等,1992,1993)。

(4) 断奶　1984年在长江中游围养一群江豚时,发现一头体长为96cm的江豚捕食投喂的活小鱼。该江豚不久因发生意外而死亡。鉴定其年龄为0.5龄,胃中含有固体食物。估计该江豚刚断奶不久或正处在断奶阶段。因此推测,江豚的哺乳期约为6个月,相应的断奶年龄约0.5龄。

六、江豚的分类

江豚于1829年由Cuvier首次描述,并命名为*Delphinus phocaenoides* Cuvier 1829,其依据是一个据说来自南非好望角的头骨。模式标本保存于法国巴黎国家自然博物馆,标本号:A3086。后据Allen(1923)研究认为,该标本的产地很可能是印度(高安利等,1993)。后来,一头采自日本长崎的江豚被命名为*Delphinus melas* (Temminck and Schlegell, 1844)。因有悖命名法规而被废弃。1846年,因*Dephinus*的属名被另一物种占先,Gray(1846)为江豚建一新属*Neomeris*。后来又发现该名已被用于环节动物的一个属名,Palmer(1899)就用*Neophocaena*替换了*Neomeris*,江豚的学名又被改为*Neophocaena phocaenoides* (Cuvier, 1829)并被沿用至今。据Allen(1938),江豚的晚出异名还有*Delphinapterus molagon* Owen 1869和*Neomeris kurrachiensis* Murray 1884。我国学者在不同的时期也分别沿用了上述江豚的部分不同学名(高安利等,1993;王丕烈,1992)。Barnes(1985)研究了鼠海豚的演化和分类,认为江豚属于鼠海豚亚科。

Fraser(1966)在1964年召开的第一届鲸类研究国际学术讨论会上首次注意到印度洋江豚与中国江豚颅骨的一些差异。Pilleri和Gihr(1972)比较了13头中国长江江豚与印度洋江豚的外形差异,提出江豚应分为二个种,西方种为:*Neomeris phocaenoides*,分布于印度洋沿岸,东方种为新种,命名为*Neomeris asiaeorientalis*,分布于中国沿岸海域及长江中下游。Van Bree(1973)认为将中国江豚定为一个新种的证据不足,Pilleri等提出的差异有的不能成立。同时指出其用的属名有问题,并认为中国和日本的江豚属同一亚种,即*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*(Pilleri and Gihr 1972)。针对Van Bree的论点,Pilleri and Gihr (1975)进一步分析了来自印度洋、日本、长江江豚的外形和骨骼的差异,又将江豚分为3个种,即*N. asiaeorientalis*, 分布于长江及中国沿岸海域;*N. sunarmeri*分布于日本沿岸海域;*N. phocaenoides*分布于印度洋沿岸。Pilleri等(1975)的论点曾一度得到中国部分学者的支持(Pilleri *et al.*, 1979, 1980;周开亚等, 1979,1980),但多数人仍认为江豚只有一个种,即*N. phocaenoides*。Mitchell(1975)认为江豚可能有二个亚种。上述作者仅注意了不同大区(如中国沿岸海域与印度洋沿岸)江豚的差异,而大区内(如中国沿岸海域与长江等)的江豚差异却被忽略了。日本片冈照男(Kataoka *et al.*, 1969)注

意到日本鸟羽湾与九洲湾江豚外形的差异。王丕烈等(1989,1990,1992)注意到了黄渤海、南海与长江江豚的外形差异。认为中国江豚应包括三个亚种,即指名亚种 *N. p. phocaenoides*,分布于南海,认为南海的江豚与印度-巴基斯坦江豚外形与骨骼无大差异;扬子亚种 *N. p. asiaeorientalis* 主要分布于长江和东海;以及北方亚种 *N. p. sunameri* 分布于黄渤海,同时认为北方亚种与日本江豚的外形与骨骼无大差异(图 9-5)。

高安利(1993)根据江豚的外形、骨骼差异、生长模式和生殖方面的差异等也认为中国江豚有三个亚种,但认为扬子亚种(或长江亚种)仅分布于长江中下游,而北方亚种可分布于中国东海(甚至可达东海南部)。

江豚的分类问题已探讨30余年了,分别有2个种和3个种及2个亚种和3个亚种的观点,对各个种或亚种的解释也不尽相同。江豚属到底包括几个种、亚种或种群?对这个问题的回答涉及到江豚的生态、分布、迁移、形态、生殖、生长、内分泌等多方面,为今后江豚研究的热点和难点。

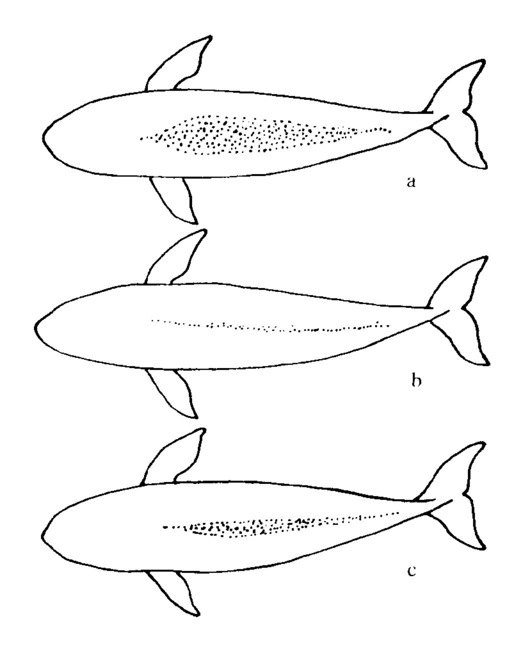


图 9-5 中国江豚不同亚种的背部棘状小结节分布特征(仿王丕烈,1992)
a. 指名亚种;b. 扬子亚种;c. 北方亚种。
Fig. 9-5 Distribution of tubercles on the back of three different sub-species of *Neophocaena phocaenoides* in China
a. *N. p. phocaenoides*; b. *N. p. asiaeorientalis*; c. *N. p. sunameri*.

七、江豚的饲养

1. 食性

虽然有关江豚食性的系统研究报道很少,但仍可看出江豚的食性较广。长江中游的江豚胃中可见鲤(*Cyprinus carpio*)、黄颡鱼(*Pseudobagrus fulvidraco*)、黄尾鲴(*Xenocypris davidi*)、鲫(*Carassius auratus*)、虾以及米饭和谷物之类的食物。长江口一带的江豚捕食大银鱼(*Protosalanx hyalocranius*)、刀鲚(*Coilia ectenes*)、鲚鱼(*Coilia mystus*)。黄渤海江豚胃中有青鳞鱼(*Harengula zunasi*)、鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)、银鱼(*Salanx* sp.)、叫姑鱼(*Johnius belengorii*)、梭鱼(*Mugil soiug*)、鲐鱼(*Pneumatophorus japonicus*)、小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)、颚针鱼(*Tylosurus anastomella*)、油魣(*Sphyraera pirguis*)、对虾(*Penaeus orientatis*)、脊尾白虾(*Palaemon carinicauda*)和日本枪乌贼(*Loligo japonica*)等(王丕烈,1984;Furuta *et al.*, 1976)。此外,我们饲养江豚时,常喂鲫,沿海饲养江豚多用小黄鱼、带鱼(*Trichiurus haumela*)和鲱鱼(*Clupea pallasi*)等。另据日本鸟羽水族馆饲养江豚的经验,江豚日食量占体重之比雄性平均为5.24%,雌性为5.82%(Kataoka *et al.*,1967)。

2. 饲养

日本鸟羽(Toba)水族馆自1963年开始饲养江豚,并于1976年4月17日记录江豚在饲养下繁殖的过程。据认为,鸟羽水族馆目前已经得到饲养下繁殖的第三代江豚。除鸟羽水族馆外,屋鸟(Yashima)水族馆,江之岛(Enoshima)水族馆,二见浦国家公园水族馆(Ise Shima National Park, Aquarium)等处也有数年至十数年江豚饲养史,并在江豚的饲养方法、食物与食量、活体运输、饲养下行为观察、血液等方面做了部分工作(Furata *et al.*,1977;Izawa *et al.*,1965;Kataoka *et al.*, 1966,1967,1969,1970,1973,1974,1977;Uchida *et al.*,1987)。

在我国,孟凡等(1981)报道一例饲养一年多。1992年4月,安徽铜陵白鳖豚养护场开始饲养江豚4头,其中饲养时间最长的已近4年。南京师范大学鲸类研究室饲养1头雄性江豚达2年多,中国科学院水生生物研究所1978年开始试养江豚,1993年1头雌性江豚“涓涓”在人工饲养下生活了一年半。此外,在长江天鹅洲国家级白鳖豚自然保护区内的半自然条件下,从1990年3月至今已先后饲养13头江豚,其中最长的饲养时间已达6年,江豚可在半自然条件下正常摄食、交配、分娩和抚幼(陈佩薰等,1993;张先锋等,1995;杨健等,1995)。

八、江豚的行为与声学

关于江豚的行为观察和研究,自1993年以后陆续见诸报道。Pilleri等(1979)、陈佩薰等(1980)、侯亚义(1993)、华元渝等(1993,1994)、张先锋等(1993)、杨键等(1994)、王丁(1996)相继报道了江豚的呼吸、集群、抚幼、摄食等行为,多为定性和描述性的。下面分几个方面介绍。

1. 呼吸行为

江豚呼吸时,身体接近水面,首先额隆和呼吸孔露出水面,部分背部也相应露出水面,露出水面的部分长度约40—50cm,露出水面的持续时间一般2—3s,个别达10s以上。露出水面后先呼气,再吸气。相对于白鳖豚而言,江豚的呼吸声较急促,没有白鳖豚拖得长,仅发出短促的“噗”声。

饲养条件下观察江豚的呼吸间隔一般为3—43s,多数在10—20s之间,昼夜呼吸间隔差异不明显。喂食时呼吸加快,每天3—8时呼吸间隔稍长(侯亚义,1993)。野外统计,江豚逆水上行时呼吸间隔平均为14s,顺水下行,在回水区或静水区游动时呼吸间隔平均为40s(张先锋等,1993)。在长江天鹅洲故道半自然环境条件下,通过无线电跟踪,精确记录到江豚的呼吸模式为:每3—6次短的呼吸间隔后有1次长的呼吸间隔(张先锋等,1996)(图9-6)。

天气变化大风将起之前,常观察到江豚呼吸频率加快,露出水面较高,呼吸急促,头多朝起风的方面“顶风”出水。估计天气变化之前气压较低,江豚不得不增加呼吸频率,以获足够的氧气。江上作业的渔民称此种行为为江豚“拜风”。一旦发现江豚“拜风”,便知道要起大风,天要变坏了。

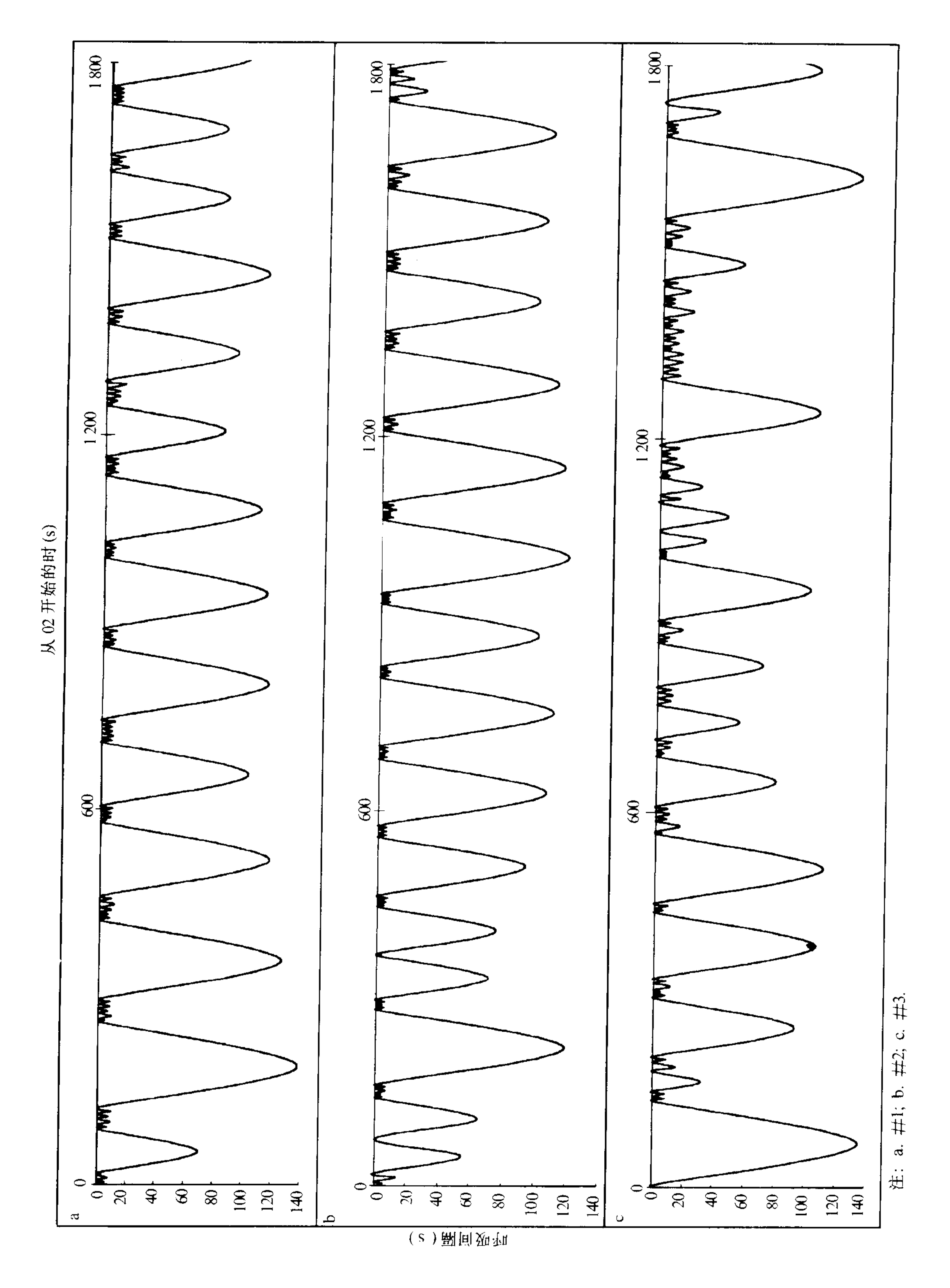


图 9-6　江豚常见的呼吸模式(1993 年 10 月 27 日,02 : 00—02 : 30 记录)

Fig. 9-6　Breath model of *Neophocaena phocaenoides*

(recorded on 02 : 00—02 : 30, October 27,1993)

2. 社群行为

(1) 集群规模　江豚是群居性动物。迄今观察到江豚最大群体为 87 头(张先锋等,1993)。这种大规模集群是由多个小群或亚群在某种条件下集中而形成的。1989 年 12 月 11 日,在约 40min 的时间内,江豚由鄱阳湖口向八里江口方向,3—5 头一群,连续不断地游过,一共计数到 87 头。继续跟踪发现,江豚过八里江口一带后不久,便分散成若干小群。抽样统计 333 群共计 1 154 头江豚的集群规模与概率表明,1—5 头出现的概率为 88%,其中 2 头和 3 头的群体最为常见,占 47%,超过 20 头的大群出现率仅约 3%,而此种大群所包括的数量却占总观察数的 35%。

(2) 集群行为　在长江边围养江豚时观察到江豚一般成双成对活动,大多是母仔豚,也有成年雌雄豚相依的情况。这种成对的江豚构成群体的核心单元,而这种核心单元一起活动就构成了通常意义上的群体。有时也在群体之外存在 1—2 个单独活动的江豚(王丁等,1996)。也观察到同一群共 19 头江豚围到围网中后,形成两个明显的亚群(或子群),分别由亚群中的雄豚带领,沿着网来回游动。群体游动时,呈"∧"状排列,一般是母仔豚处于中间,成年豚和未成年豚位于群体的尾部。受惊时立即分散深潜,数分钟后再合拢(华元渝等,1993)。

(3) 抚幼行为　成年江豚有着明显的保护、帮助幼仔豚的行为,具体表现为驮仔、抚带等方式。此类行为较为独特,常见,也很有趣。Pilleri 等(1979)、华元渝等(1993)描述了这类行为。驮豚时,仔豚的头、颈、腹部紧贴母豚背部,当母豚头部入水背部略弓时,可见仔豚斜趴在母豚背上(图 9-7)。从远处侧面观察,常见母仔豚前后相继露出水面。

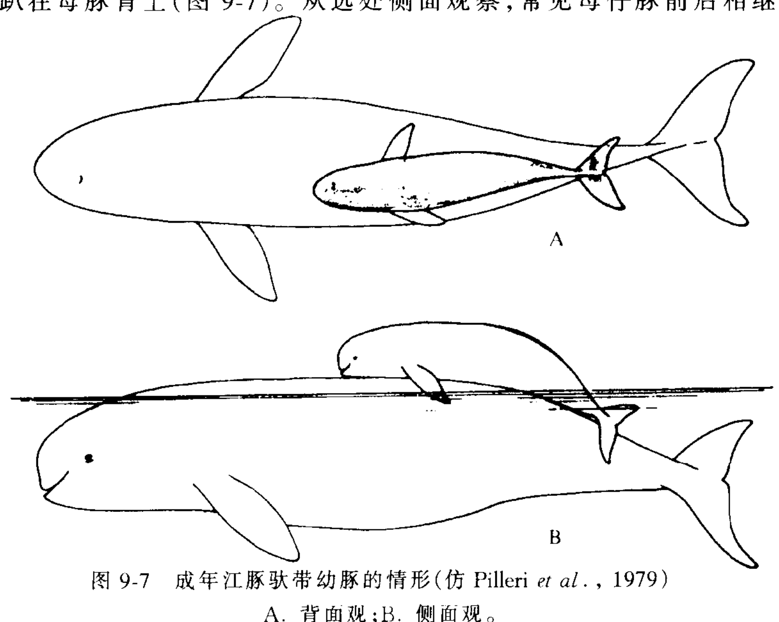


图 9-7　成年江豚驮带幼豚的情形(仿 Pilleri *et al.*, 1979)
A. 背面观;B. 侧面观。

Fig. 9-7　Adult *Neophocaena phocaenoides* carrying its calf on the back
A. Dorsal view; B. Lateralis view.

有时亦观察到仔豚先露出水面,母豚后露出水面的情形,推测可能是仔豚呼吸频率稍高所致。据观察,有的"仔豚"已经相当大了,仍由母豚带着一前一后地露出水面。托带时,母

豚常用鳍肢或尾叶托着仔豚的下颌或身体其他部位前后相继露出水面。有时母仔豚靠得很近(约 5—10cm),但两者身体并未接触,前后相继露出水面。托带方式更为常见。

此外,还观察到母豚的授乳行为。授乳时,母仔豚常出现在较浅、较缓水域,母豚稍侧,鳍肢一侧露出,仔豚紧贴母豚腹部,一次授乳时间约为 5—10min。也观察到公豚参与母豚抚幼行为,仔豚介于公母豚之间,更靠近母豚,三头豚同时沉浮,几乎平行露出水面(华元渝等,1993)。

另一方面,江豚母性极强。沿海有渔民反映,若仔豚被捕,母豚不忍丢弃,绝不单独离去,因此母豚可能同时被捕。作者亦发现类似现象,1993 年 10 月,我们在长江天鹅洲故道进行江豚无线电跟踪研究,捕到一头仔豚和 3 头成年公豚一同放入围网中暂养。围网外一头母豚整整两天在围网附近活动,不肯离去。而仔豚也一直在围网边缘靠近母豚的方向活动。第三天,我们把仔豚放到围网外后,母仔迅速会合并立即远去。

(4) 救助行为　1984 年 12 月 4 日上午,在长江围养江豚时,观察到一头大江豚左鳍肢因受伤呈灰白色,感染严重,不能动弹。此时,一小江豚将自己身体沉在大江豚鳍肢下,背部托住大江豚鳍肢一起同步游动。在人工饲养池中也曾观察到类似的行为(王丁,1996)。

(5) 嬉戏行为　江豚性情活泼,常在水中上游下窜,在水中可观察到身体翻滚、转游、跳跃、"点头"、喷水等动作。侧游时尾鳍一叶露出水面,左右摇摆,从空中划过。有时急游,突然转换游向。跳跃时,主要是受到惊吓后,一头或数头江豚急游,一次或连续数次跃出水面。多数跳跃身体大部分露出水面,仅尾叶在水中向前"犁"行,偶尔也见全部身体跃出水面达 0.5m 高(华元渝等,1993)。有时观察到江豚直立、顶浪等行为。直立时,身体 2/3 露出水面,与水面垂直,持续数秒。在江中,当大船过后,江豚喜欢顶浪或乘浪起伏。在长江和饲养条件下均观察到江豚吐水行为,江豚头部露出水面,嘴一张一合,快速前游,并不时从嘴里喷水,有时可将水喷出 60—70cm 远。饲养时,曾观察到江豚将水喷向训练员,十分顽皮可爱。

(6) 争斗行为　在野外和室内的豢养条件下,曾观察到江豚与同一群体内的其他个体进行个体之间的争斗行为,有以下几种模式:

1) 威胁:如 A 个体向 B 个体快速游去,B 回避;又如,A 阻挡 B 行进路线,与 B 相对甚至有时张嘴露齿,B 退回。

2) 追逐:为一种程度强于威胁的争斗行为。如 A 追赶 B ,将 B 赶走或直至 B 扔下已得到的食物为止。

3) 格斗:为程度最严重的争斗行为。如 A 用头撞击 B,用牙嘶咬,直至 B 逃走(杨健等,1994)。

3. 与生殖有关的行为

(1) 交配行为　华元渝等(1993,1994)报道了观察到的江豚的交配行为。江豚的交配从雌雄豚之间的热烈追逐开始到交配结束,一般需 30—60min,一天中可出现十数次,且昼夜不分。交配行为可分为发情、交配和配后三个阶段。发情阶段有追逐、伴游、触碰、相蹭几个过程,共历时约 20—35min。追逐时,雄体追逐雌体,可见雄体在雌体腹部及尾柄前后游动,出现翻滚、侧游、仰游等多种姿势。水面被搅得波浪不止,水花四溅。伴游

时，雌雄体平行露出水面或潜入水中，身体不同部位触碰，相蹭，可见雄体雌体吻端相碰，吻触对方生殖部位等，逐渐引发交配。交配阶段有性器官外露和结合两个阶段，前后历时约10—20min，估计实际媾合不超过2min。当发情到一定程度后，雄雌体腹面相对，生殖裂靠近，雄体生殖器外露，相伴游动，直至雄性生殖器插入雌体，达到结合。结合时水面相对平静，约2min后，两豚缓慢上浮，然后分开。配后阶段历时较短，多表现为豚体悬浮于水层，缓游。交配过程中未观察到摄食现象。

（2）雄性性行为　作者1993年4月在日本江之岛水族馆曾数次观察到一头雄性江豚的性行为。雄豚屡屡接近一头即将分娩的雌豚，生殖部位靠近雌体，随即粉红色的、长约15cm、细而弯曲的阴茎勃起，伸出体外，由于雌豚拒绝交配，1—2s后，阴茎缩入体内，雄豚游开。亦观察到雄豚勃起的阴茎在池壁上摩擦。

（3）分娩行为　1993年4月10日，作者在日本江之岛水族馆观察到一头饲养江豚的分娩过程。分娩前10天左右，母豚的呼吸频率逐日增高，食量渐减。前5天乳裂、生殖裂逐渐涨大，张开，乳头外突。游泳时常停止于水面不动。停止于水面时身体常左右晃动，似失去平衡。分娩开始前约25h，外阴进一步张开，可见阴道口，并有乳白色液体从阴道口流出。10日下午7时刚过，阴道口叉开，仔豚尾叶娩出体外约15cm。可见仔豚背部偏右约90°，尾叶尖端向腹面卷曲，母豚每隔3min左右，上下急游，翻滚一次，持续约2—3min，缓慢游动，间歇约3min，然后再急游。急游时，母体一用力，仔豚可多出来一点，但母豚一松劲，仔豚又缩进去了（图版XXXV，B）。到21时左右，仔豚生出约20cm，可见仔豚的肛门及生殖器，并明显看出仔豚为雌性。21点45分，在一次间歇阶段后，母豚突然持续用力，21时46分，胎儿整体娩出，仔豚奋力向上游动，母豚腹面朝上，身体朝仔豚相反的方向游动，拉断脐带。只见一股鲜血从脐带流出，仔豚冲出水面，呼吸空气。整个过程历时约160min。

4. 摄食行为

华元渝等（1993，1994）描述了江豚的摄食行为。摄食行为亦可归纳为索食、进食和食后三个阶段。索食阶段，江豚首先快速游动，多为深潜游动，露出水面时呼吸声较大，有时嘴上沾有污物、露出水面频繁（一般次/3—5s）。在水面激起涌浪，观察到浪头最高达40cm。然后驱赶放入池中的活鱼，豚体向前猛冲，接着快速转体，用尾叶击水、搅水驱赶鱼群，把聚集在池边的鱼群驱惊、驱散，接着进入进食（捕食）阶段。豚体快速游动，迅速接近猎物，头部可灵活转动、摆动以准确定位，咬住猎物后，将鱼头调整为正对咽喉方向快速吞下，然后再进行下次捕食。也观察到江豚将较小的数条鱼衔在口中后再一次吞下。食饱后，江豚一般缓慢游动或悬浮在水中。

作者在野外考察时，曾多次观察到江豚集体协同摄食鱼群的行为。发现鱼群后，江豚彼此分开游动，潜水不深，游动方向不定，常伴有前扑和甩头的现象，呼吸急促，响声较大，水面常泛起水花。有时可见尾露出水面击水，似头朝下追鱼，可见小鱼被追跳出水面的现象。曾观察到数头江豚在一大回水区合围一大群鳘条鱼，数十至上百条银白色的鳘条鱼跳出水面，水面一片银光闪闪，场面蔚为壮观。江豚捕食时，常见空中盘旋江鸥，趁小鱼露出水面时抢食小鱼。有时，我们观察江豚丢失目标时，就循着江鸥飞行的方向，可准确找到目标。

5. 逃避行为

当江豚受到船只干扰时,反应灵敏。一般先采取分散深潜方式,快速潜逃。深潜时间一般达3—5min,浮出水面的方向不定。出水换气后再次潜人水中,通常要等干扰结束后5—10min才逐渐恢复正常。有时遇到紧急情况,深潜躲避不及时就采用跳跃方式逃窜。跳跃方式体能消耗较大,一般持续时间不长。

6. 休息行为

在深夜可观察到饱食后的江豚均匀、缓慢地游动,豚体平稳悬卧于水表,仅依靠尾叶轻轻摆动,推动身体慢慢向前滑行。

7. 江豚与白鳖豚合群

江豚与白鳖豚基本上不合群,但也偶见两者合群,甚至在一起嬉戏的行为。如1994年11月18日,作者在八里江口(江西湖口段)观察到1头白鳖豚和2头江豚一同嬉戏长达30min之久。有时江豚先露出水面,白鳖豚随之露出水面,有时两者同时露出水面,2头江豚在两旁,白鳖豚在中间。有时江豚与白鳖豚身体呈交叉状,江豚跃出水面,白鳖豚随之跃出水面;看上去似乎江豚身体试图朝白鳖豚身上压,而白鳖豚奋力上浮把江豚顶出水面。

8. 声信号与声行为

(1) 声信号分类　　依据江豚声信号的物理特征,可将江豚的声信号分为下列两大类(王丁,1996):

1)高频脉冲信号:这类信号由一连串的单个高频窄脉冲所构成。脉冲数少则几个,多则100多个,一般在20—120个之间。脉冲重复频率一般为20—120个/s。单个脉冲的时间宽度一般在3.1ms左右,每个脉冲完整波形个数在2.5—5个之间。典型的单个脉冲波形见图9-8。

2)低频连续信号:这类信号均为时间连续信号,且频率一般处于15kHz以下,持续时间一般在300—600ms之间,长的可达2s以上。由于频率的高低不同及其他信号参数的差异,人耳听起来就成了不同的声音,有的如羊叫,有的似鸟鸣。

(2) 声行为　　高频脉冲信号应为江豚的声呐信号或称回声定位信号,又称“的答声”(clicks)。该信号主要是江豚在探测环境、捕食时发出。当投鱼于水听器附近时,可听到大量这类信号。江豚的高频脉冲信号发生的多少与其所处的状态有关。江豚被放进围网的最初几天,高频信号较多,一段时间后,江豚熟悉了周围环境,一般不常发出这类信号。投喂饵料鱼时,此类信号明显增多。

江豚的低频连续信号在刚到围网中时也较多,以后逐渐减少。在较多的江豚一起活动并有较复杂的社群行为时,也有较多的低频连续信号。由此推测,低频连续信号与声通讯和感情表达有关。

此外,从有限的记录反映出,清水水体下,江豚之间的发声活动水平(如发声次数)夜间高于白天。由此推测,在白天江豚的视觉还有一定的功能。

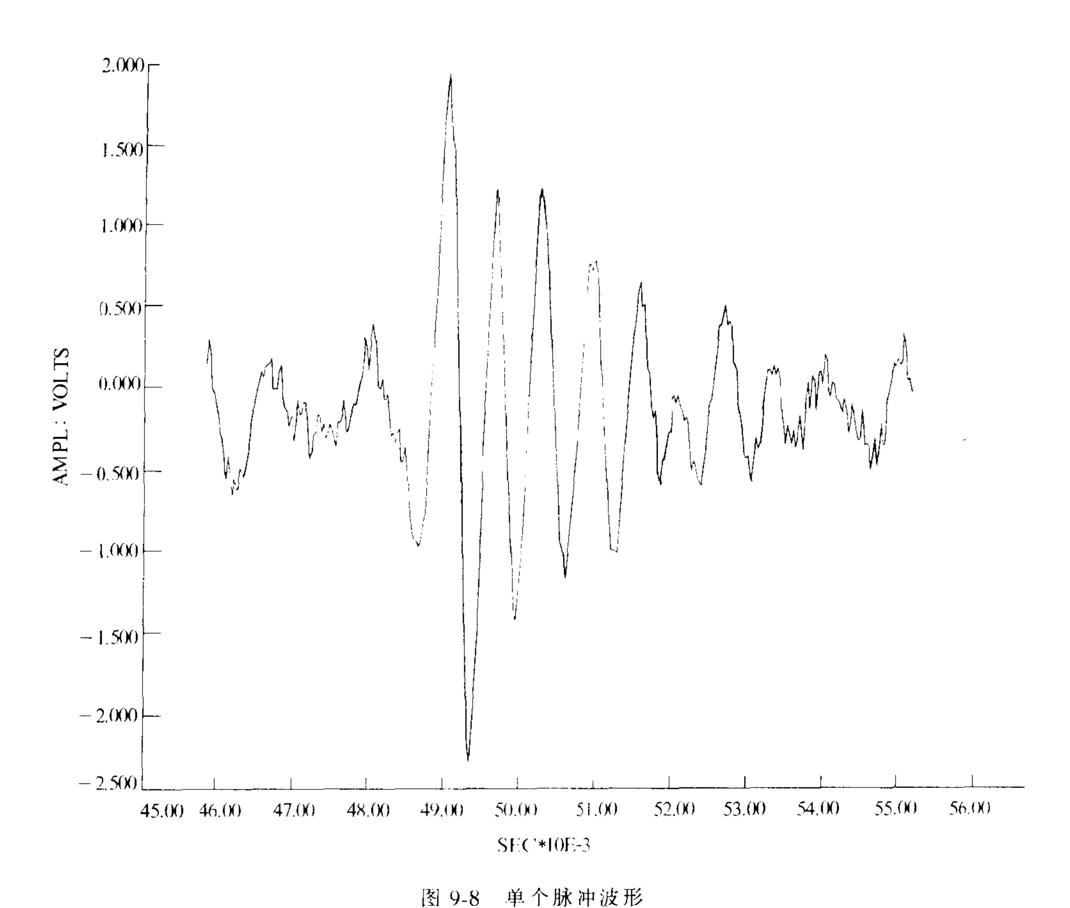


图 9-8 单个脉冲波形

Fig. 9-8 Oscillogram of a single pulse

九、江豚的种群现状与保护

通过多年研究，我们较为全面地评价了长江中下游江豚种群的现状（张先锋等，1993）。

1. 江豚种群野外考察数量统计方法

1984 年 12 月至 1991 年 6 月，中国科学院水生生物研究所在长江中下游及洞庭湖和鄱阳湖先后开展了 13 次单船流动或多船流动考察及流动与定点考察。考察累计行程 12 633km，时间 312 天，共记录到江豚 2 865 头。按下述方法对考察所得资料进行处理。

先确定可见系数 R，野外考察时，受各种因素所限，在某一范围内观察到的江豚数量总是低于该范围内的实际数量。我们将观察数量与实际数量之比定义为可见系数 R。R 值显然小于 1。假定观察者视力、身体等条件无显著差异，R 值的确定取决于如下因素：

(1) 江豚露出水面的距离与角度（系数 $r_1 n$） 江豚属于小型豚类，体长 0.7—1.7m 左右，一般露出水面持续时间仅 2—3s。因此，观察者仅能在一定距离和角度下有效观察、计数江豚。在长江实际测算，观察者的有效观察距离为 400m，两个观察者可同时扫描 800m 的宽度。而最佳观察距离为 300m 以内，利用双目望远镜可有效观察到

1 000m。实际统计 141 头江豚距观察者的距离和出现率，结果显示，50—200m 的出现率为 71%，50—300m 为 85%。另一方面，63%的江豚出现在前进方向的 30°—90°之间。受到风、雨、雪、雾和强烈阳光等气候条件影响时，有效观察距离会大大降低。

考虑到 13 次考察的考察方法和江段宽度不尽相同，在统计分析资料时，将长江中下游按宽度分为三类：① 宜昌—武汉段为 A 类，河宽 1 500—2 000m；② 武汉—江阴段为 B 类，河宽 2 000—3 000m；③江阴—吴淞口段为 C 类，河宽超过 3 500m，洞庭湖和鄱阳湖也划归此类。然后根据单船或多船考察方法不同，又分为五种组合：① A＋单船考察——r_{11}，取值为 0.45；② A＋多船考察——r_{12}，取值为 0.90；③ B＋单船考察——r_{13}，取值为 0.30；④ B＋多船考察——r_{14}，取值为 0.60；⑤ C＋单船考察——r_{15}，取值为 0.20。

(2) 江豚呼吸间隔时间和观察者扫描一次的时间差(系数 r_2)　前文提到，江豚逆水上行时，平均呼吸间隔为 14s，顺水下行，在回水区或静水区游动时，平均呼吸间隔为 40s。观察者集中精力扫描一个 0°—90°，半径为 300m 的扇面所需时间约为 20s。每次扫描后有个短暂的休息，然后开始第二次扫描。显然，江豚的呼吸间隔与观察者的扫描两者存在明显的时间差。除观察上行的江豚外，约 50%的江豚可能漏掉。综合考虑时间差带来的误差，将时间差系数(r_2)取值为 0.6。

(3) 静态可见系数(系数 r_0)　1984 年 11 月，我们在洞庭湖围住一群江豚，所用围网周长 600m，围成面积约 2.9ha 的水面，水深 2—3m，流速 0.3—0.5m/s。当时的天气为晴天，无风，观察条件理想。当时，多位观察者从围网边不同角度计数该群的数量，连续观察 2 天，计数结果为 12—15 头，后来全部捕起这群江豚共计 24 头。计数结果仅为实际数量的 60%(以 15 头计)。我们将此种较为理想条件下观察者计数到的数量与实际数量之比称为静态可见系数，记为 r_0，取值为 0.6。

将上述因素综合考虑，可见系数 R 应等于上述 3 个系数的乘积，即：

$$R_n = r_0 \times r_1 n \times r_2 (n = 1—5)$$

$$\because r_0 = 0.6,\ r_2 = 0.6$$

$$\therefore R_n = 0.36 r_1 n\ (n = 1—5)$$

因此，我们可获得不同江段宽度，不同考察方法相互组合的 5 个可见系数，即 5 个校正系数(表 9-2)。

表 9-2　长江中下游江豚计数结果校正系数

Table 9-2　Corrected parameters of countings of *Neophocaena phocaenoides* in the middle and lower reaches of the Yangtze river

校正系数 Corrected coefficient	计算公式 Formula	结　果 Results	说　明 Caption
R_1	$0.36 \times r_{11}$	0.162	宜昌至武汉江段、单船 Section from Yichang to Wuhan with single boat
R_2	$0.36 \times r_{12}$	0.324	宜昌至武汉江段、多船 Section from Yichang to Wuhan with multiple boats
R_3	$0.36 \times r_{13}$	0.108	武汉至江阴江段、单船 Section from Wuhan to Jiangyin with single boat
R_4	$0.36 \times r_{14}$	0.216	武汉至江阴江段、多船 Section from Wuhan to Jiangyin with multiple boats
R_5	$0.36 \times r_{15}$	0.072	江阴至吴淞口江段、洞庭湖和鄱阳湖、单船 Section from Jiangyin to the estuary including lakes with single boat

2. 长江中下游江豚种群数量统计结果

假定 1984—1991 年间，长江中下游江豚种群数量相对稳定，可利用校正系数 R 对 13 次考察的结果进行校正，校正后的结果列于表 9-3。对历次考察校正后的结果取加权平均数，可得到各江段江豚的平均相对密度。最后，根据江段长度，推测出长江中下游江豚

表 9-3 长江中下游江豚考察结果

Table 9-3 Results of surveys of *Neophocaena phocaenoides* in the middle and lower reaches of the Yangtze river

考察时间季节 Survey date and season	观察头数 Individuals of porpoise counted	观察密度 (头/km) Observed density (No./km)	SFUE 值(头/天) Sightings per unit of effort (No./day)	校正系数 R Corrected coefficient R	校正密度 (头/km) Corrected density (No./km)
1984 年冬 (Win., 1984)	44	0.04	4.4	R_1	0.247
1989 年夏 (Sum., 1989)	100	0.15	7.1	R_1	0.926
1989 年秋 (Aut., 1989)	29	0.08	3.2	R_1	0.494
1989 年冬 (Win., 1989)	135	0.11	7.5	R_1	0.679
1990 年春 (Spr., 1990)	22	0.10	7.3	R_1	0.617
1989 年春 (Spr., 1989)	97	0.19	6.9	R_2	0.586
1985 年春 (Spr., 1985)	35	0.09	2.2	R_2	0.278
1988 年冬 (Win., 1988)	192	0.23	10.1	R_2	0.710
1990 年冬 (Win., 1990)	432	0.65	17.3	R_2	2.006
1991 年春 (Spr., 1991)	129	0.17	9.9	R_2	0.525
1991 年夏 (Sum., 1991)	99	0.08	5.0	R_2	0.247
1989 年夏 (Sum., 1989)	69	1.15	34.5	R_5*	15.972
1984 年冬 (Win., 1984)	206	0.15	14.7	R_3	1.389
1989 年冬 (Win., 1989)	441	0.25	20.0	R_3	2.315
1991 年春 (Spr., 1991)	210	0.19	11.1	R_4	0.880
1989 年冬 (Win., 1989)	11	0.37	22.0	R_5**	5.093
1989 年冬 (Win., 1989)	14	0.05	1.8	R_5	0.694

注：* 洞庭湖；** 鄱阳湖。

Notes: * Lake Dongting, ** Lake Poyang.

的种群数量大约为 2 700 头(表 9-4)。其中武汉以上江段约为 500 头,武汉以下江段约为 2 200头。实际上,2 700 头是对长江中下游江豚种群相对的、动态的估计。加之,江豚可能会长距离迁移,某些季节(如冬季),江豚种群数量可能会高于这个数字,而另一些季节则可能低于这个数字。

表 9-4 长江中下游江豚种群数量统计

Table 9-4 The estimated population size of *Neophocaena phocaenoides* in the middle and lower reaches of the Yangtze river

江 段 Section	长 度 Length of section(km)	相对密度(头/km) Relative density(no./km)	估计数量 Estimated number
宜昌—武汉 (Yichang-Wuhan)	626	0.63	394
洞庭湖 (Lake Dongting)	30 *	3.45	104
武汉—江阴 (Wuhan-Jiangyin)	898	1.84	1652
鄱阳湖 (Lake Poyang)	15 *	3.45	52
江阴—吴淞口 (Jiangyin-Wusongkou)	145	3.45	500
合计 Total	1 669		2 702

注:* 仅指考察距离。
Note: * Only indicates survey distance.

3. 长江中下游江豚的种群结构

(1) 性比 1978—1990 年,收到长江中下游江豚标本 59 头,雄雌性比为 1:1.46 (24:35)。根据江豚首次达性成熟时的体长推算,成熟个体 33 头,占总数的 55.9%。成熟个体雄雌之比为 1:1.54(13:20)。

(2) 出生率 按照性比进一步推算,长江中下游 2 700 头江豚中,有 1 509 头成熟个体,其中雄性 431 头,雌性 1 078 头。雌体妊娠率为 71.4%(张先锋,1992),雌性江豚的生殖循环一般为 2 年,雌体妊娠与哺乳的重迭率约为 20%(Kasuya, 1979)。理论上推算,长江中下游每年有:1 078×71.4%×(50%+20%)=539 头新个体产生,占长江中下游江豚种群的 19.95%。实测洞庭湖一群(24 头)江豚的出生率为 20%。两者吻合。

(3) 年龄结构 参照张先锋(1992)所作的江豚年龄鉴定结果,把长江中下游江豚种群按 0—4、4—8、8—12、12—16、>16龄分成 5 个年龄组,各组的数目依次为 1 588、437、475、159、419(图 9-9)。

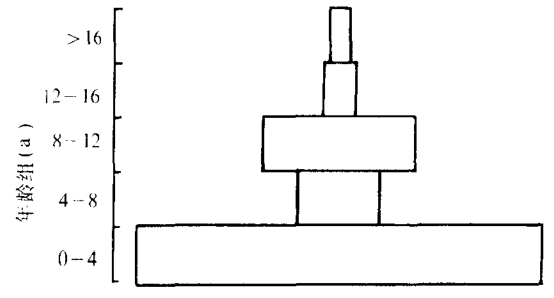


图 9-9 长江中下游江豚的年龄结构

Fig.9-9 Age composition of *Neophocaena phocaenoides* in the Yangtze river

4. 江豚的保护

如前所述,江豚分布广泛,北到日本,南朝鲜沿海,南到印尼的爪哇群岛,西到波斯湾都有分布,我国东南沿海、长江中下游、鸭绿江、珠江下游亦有江豚分布。江豚种群目前虽不算太小,但其中某些类群(前已述及,有人认为江豚至少应分为几个不同的类群)的情况却不容乐观。在日本,江豚已被政府列为保护动物,禁止捕杀。在我国,江豚被列为二级保护动物。

就长江中下游而言,尽管江豚种群还有一定数量,但据考察和访问常年在长江作业的渔民,长江江豚种群数量下降的趋势亦是明显的。渔民反映,70 年代,站在江边突出的地方,用手抄网或叉子即可捕到江豚,而 80 年代后,这种情况已不存在了。实际上,威胁白鱀豚的几个方面的因素,如过度捕捞、航运业、水利设施的建设和水体污染等人类活动仍在加剧,长江江豚同样面临着这些威胁,并由此导致种群数量下降。根据目前所占有的资料,有理由认为,不久将来长江江豚极为可能面临今天白鱀豚一样的濒危处境。因此,长江江豚的保护问题,从现在起就应提到应有的高度,尽早尽快开展相关研究和保护工作。

根据江豚种群目前的现状,作者认为保护江豚的途径应有以下几个方面:①利用长江故道等半自然环境建立江豚饲养种群,如利用长江天鹅洲故道,建立不少于 20 头个体的饲养种群;另在洞庭湖、鄱阳湖、长江下游等合适的地方建立 2—3 个江豚饲养种群。②利用现有的人工饲养设施,如中国科学院水生生物研究所白鱀豚馆和安徽铜陵白鱀豚养护场开展江豚的人工饲养和繁殖研究。③在长江中下游干流,选择江豚分布密集的江段,如江西湖口至八里江口段、新滩口段、洞庭湖段建立江豚自然保护区,保护江豚自然种群及其栖息地。④深入广泛开展江豚生态学、饲养学、遗传学研究。

十、长江中白鱀豚与江豚的关系

我们从两者的种群数量、生长、繁殖等六个方面探讨它们之间的关系。

1. 数量

长江中下游江豚的种群数量约为 2 700 头左右,白鱀豚的种群数量虽然尚无较为明确的定论,但倾向性的观点认为已不足 100 头,照此推算,江豚的种群数量为白鱀豚的 22.5 倍。而江豚种群结构相对于白鱀豚种群而言较为健康,幼龄组(0—4 龄),所占比例约为 58.8%,而白鱀豚幼龄组(♀0—5 龄,♂0—4 龄)所占比例仅约 31.0%,相差近 1 倍。我们历年考察,也有明显的感觉,即江豚的数量远远多于白鱀豚,而且近年白鱀豚的数量下降很快,江豚的数量虽较过去有减少,但没有白鱀豚减少得快。

2. 生长与繁殖

哺乳动物一般的生长规律是性成熟前生长快,性成熟后生长慢。由于白鱀豚的性成熟年龄为 6—8 龄,江豚的性成熟年龄雌性为 4 龄,雄性为 4.5 龄,因此,从总体上看,江豚达性成熟的速度快于白鱀豚。这里要特别指出的是,江豚雌性成熟的时间比白鱀豚要早至少 2 年,且江豚家族又是"一夫多妻" 的结构(张先锋,1992)。相应地其世代交替时间

也要比白暨豚快得多。

江豚雌体妊娠率约为71%,而白暨豚仅约为30%(Liu *et al*.,1988)。就雄性个体而言,白暨豚的活动精巢重仅约30g,江豚的活动精巢重约500g以上。白暨豚的活动精巢不仅远远小于江豚,也小于其他淡水豚。这意味着白暨豚的雌雄体生殖能力均不如江豚。

3. 栖息地与群体活动

无论是从生态环境条件来看,还是从水文条件来看,白暨豚、江豚的栖息地特征均有极多类似之处(陈佩薰等,1987,张先锋等,1993),这意味着白暨豚栖息地与江豚栖息地的大部分重迭。如我们在野外多次观察到某些大回水区先有白暨豚活动,后有江豚活动,或者反过来,先有江豚活动,后有白暨豚活动。也曾经观察到白暨豚与江豚群体在同一个水区活动超过30min以上,两者相安无事。两者的栖息地多少也有些不同之处,据观察,就同一个大回水区而言,江豚活动的范围较白暨豚要大一些。因为江豚要靠近岸边活动,即可以到较浅一些水区活动,而白暨豚的活动水域要深一些。另据观察,江豚除更靠近岸边一些以外,亦更靠近船只一些,更靠近表层一些,这可能与江豚的习性和食性有关。

4. 食性与摄食

分析白暨豚和江豚的食物组成可以发现,白暨豚的食物中以中下层鱼类为主。而江豚的食物中无明显的选择性,食性较广。但白暨豚所食鱼的个体尺寸明显大于江豚所食鱼的个体尺寸。另一方面白暨豚适口鱼的大小多与滚钩捕获的鱼的大小类似,白暨豚摄食的水深多与滚钩设置的水深类似。因此,白暨豚被滚钩致死,其胃中有鱼钩的情形比较常见,而江豚被滚钩致死的情况则不多见。除鱼外,江豚还捕食软体动物、甲壳动物,甚至还摄食谷类等,对食物的适应性极强。

5. 视力

白暨豚的眼球比江豚的小,江豚的视神经纤维数为白暨豚的3.04倍。在饲养江豚和白暨豚的过程中,我们发现江豚对训练员手势的反应比白暨豚灵敏得多。因而可以认为,江豚的视力比白暨豚好。从这一点推测,白暨豚在浑浊的长江中生活的年代可能比江豚要久远得多,其眼球较小,视力较差是对长江环境弱光条件适应的结果。

6. 声能力

由于白暨豚的视力较差,白暨豚的声呐系统在其生活中扮演了重要角色。然而形态学研究表明,白暨豚的听觉系统不如江豚发达。通过比较两者信号接收的关键部位之一——耳蜗基膜的结构(图9-10),发现江豚耳蜗基膜为两圈,白暨豚只有一圈半,江豚的基膜长度明显超过白暨豚,耳蜗是听觉系统内的频率分析器,基膜的作用犹如一组机械性的低通滤波器。哺乳动物听觉系统是靠基膜来完成频率分析功能的。因此,粗略地推测,白暨豚能够感知的声频范围可能比江豚窄。特别是白暨豚比江豚的个体大,基膜却比江豚短,白暨豚基膜在近基端部分的宽度较江豚宽,白暨豚所能感知的高频声波的频率比江豚低一些(冯文慧等,1986)。

长江中下游干流中,白暨豚与江豚之间,除两者自身的一些特征和习性(如食性、生

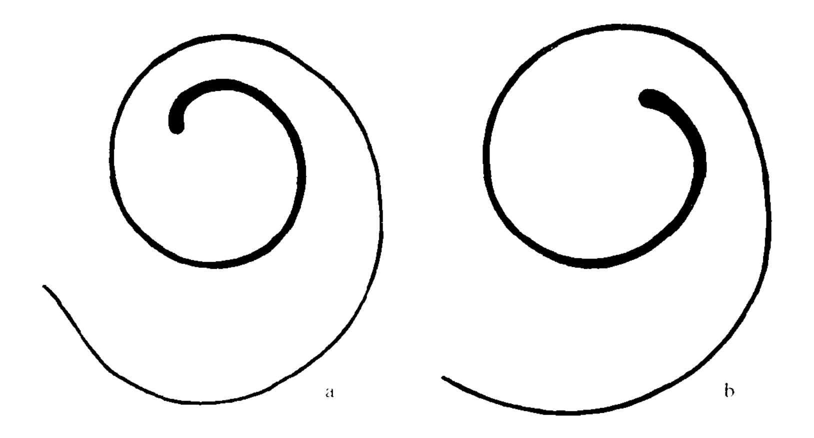


图 9-10 江豚(a)和白鱀豚(b)左内耳基膜示意图(引自冯文慧等,1986)
Fig. 9-10 Cochlear basilar membranes of *Neophocaena phocaenoides*(a) and *Lipotes vexillifer*(b)

长、声能力等)差异外,人们最为关注的是两个种的种间关系,特别是担心两者是否存在竞争关系。两者最容易产生竞争冲突的方面可能是栖息空间和食物。就目前掌握的有限材料来看,在长江环境条件良好(食物充分、人类活动不多)的前提下,长江干流似有足够的空间和食物容纳这两个物种,不然的话无法解释古老的白鱀豚为何能生存至今。然而,在目前长江环境条件极度恶化的情况下,白鱀豚和江豚种间是否会发生空间和食物竞争?程度如何?这都是目前和今后一个时期亟待研究的课题。

参 考 文 献

王丕烈,1984,中国近海江豚分布、生态和资源保护,辽宁动物学会会刊,5(1):105—110。

王丕烈、项福春、刘锡山,1989,黄渤海江豚的调查研究,水产科学,8(4):17—22。

王丕烈,1990,广西沿海的鲸类,广西水产科技,(3):1—6。

王丕列,1992,江豚形态特征和亚种划分问题,水产科学,11(11):4—9。

王丁,1994,白鱀豚的保护:威胁和问题,Baiji Population and Habitat Viability Assessment Workshop Report. 17 Nov. 1994, Nanjing:151—165。

王丁,1996,长江江豚声信号及其声行为的初步研究,水生生物学报,20(2):127—133。

冯文慧、梁长林,1986,白鱀豚和中国江豚的听觉系统——耳蜗基膜的研究,科学通报,11:862—864。

华元渝、项澄生、徐新民、章贤,1993,围网内长江江豚群体行为的观察,水产学报,17(2):120—125。

华元渝、项澄生、董明利、章贤、陈年根、徐新民,1994,长江江豚的交配行为和摄食行为的研究,长江流域资源与环境,3(2):141—146。

张先锋,1986,江豚种群生物学的研究,硕士学位论文,23。

张先锋,1992,江豚的年龄鉴定、生长与生殖的研究,水生生物学报,16(4):289—298。

张先锋、刘仁俊、赵庆中、张国成、魏卓、王小强、杨健,1993,长江中下游江豚种群现状及评价,兽类学报,13(4):260—270。

陈佩薰、刘沛霖、刘仁俊、林克杰,Pilleri G.,1980,长江中游(武汉—岳阳江段)豚类的分布、生态、行为和保护,海洋与湖沼,*11(1)*:73—84。

杨健,1991,湖北天鹅洲故道江豚的活动性及行为,硕士学位论文,36。

杨健、陈佩薰,1994,围养条件下江豚的斗争行为,南昌大学学报(理科版),18(3):263—266。

杨健、张先锋、魏卓、王小强、陈佩薰,1995,湖北天鹅洲故道试养江豚生活习性的初步研究,兽类学报,15(4):254—258。

周开亚、钱伟娟、李悦民,1979,白鱀豚的骨骼和分类位置,动物学报,25(1):58—74。

周开亚、Pilleri,G. and 李悦民,1980,长江下游南京至太阳洲江段白鱀豚和江豚的观察,兼论白鱀豚对环境的某些生理适应,中国科学,(4):363—369。

高安利、周开亚,1993,关于江豚的古籍记载及近代研究,兽类学报,13(3):223—234。

侯亚义,1993,长江江豚的饲养和观察,水产养殖,(3):13—17。

姜新发,1991,江豚胚胎发育和精巢的组织学特征(硕士学位论文),28。

孟凡、王振先、李武,1981,把鼻海豚、江豚捕捉、运输、饲养和声学实验,动物学杂志,(4):26—29。

Allen G. M., 1923, The Black finless porpoise, *Neomeris*, Bull. Mus. Comp. Zool., 65(7): 233—256.

Allen G. M., 1938, The Mammals of China and Mongolia, Part I. New York: Amer. Mus. Nat. Hist., 1—620.

Barnes L. G., 1985, Evolution, taxonomy and antitropical distributions of the porpoises (Phocoenidae, Mammalia), Marine Mammal Science, 1(2): 149—165.

Chen Peixun, Liu Renjun and Harrsion R. J., 1982, Reproduction and reproductive organs in *Neophocaena asiaeorientalis* from the Yangtze River, *Aquatic Mammals*, 9(1): 9—16.

Fraser F. C., 1966, Comments on the Delphinidea, 7—13, In: Norris K. S. editor. Whales, Dolphins and Porpoise. Berkely: University of California Press, 7—31.

Furuta M., Kataoka T., Sekido M, Yamamoto K., Tsukada O. and Yamashita T., 1989, Growth of the finless porpoise *Neophocaena phocaenoides* (G. Cuvier, 1829) from the Ise Bay, Central Japan, Annual Report of Toba Aquarium, (1989): 89—102.

Feng Wenhui, Liang Changlin, Wang Jingzhu, Wang Xiuchun and Chen Peixun, 1989, Morphometric and stereoscopic studies of the spiral and vestibular ganglia of the baiji, *Lipotes vexillifer*, Occasional Papers of IUCN SSC No. 3: 119—128.

Furuta M., Tsukata O. and Kataoka T., 1977, On the birth of finless porpoise *Neophocaena phocaenoides* in captivity, In: Report on the rearing and behavior of finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) in Toba Aquarium, 1—12.

Gao Anli and Kaiya Zhou, 1993, Growth and reproduction of three populations of finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, in Chinese waters, *Aquatic Mammals*, 19(1): 3—12.

Gray J. E., 1846, The zoology of the voyage of H. M. S. Erebus and Terror. Mammalia, London: E. W. Janson, 1: 1—53.

Hsu H. F. and Hopeppli R., 1933, On some parasitic nematodes collected in Amoy, Peking Nat. Hist. Bull., 8: 155—168.

Izawa K. and Kataoka T., 1965, On the rearing and ecological observation of the finless black porpoise (*Neophocaena phocaenoides*), J. of Jap. Zoo and Aquarium, 7(3).

Kasuya T. and Kuleha K., 1979, The population of finless porpoise in the Inland Sea of Japan, Sci. Rep. Whales Res Inst, 31: 1—44.

Kasuya, T., 1986, Finless porpoise *Neophocaena phocaenoides* (G. Cuvier, 1829), Manuscript, 36.

Kataoka T. and Motomura Y., 1966, A trial on the hand rearing of an infant finless black porpoise, *Neophocaena phoncaenoides*, J. of Jap. Zoo and Aquarium, 8(3): 82—84.

Kataoka T., Motomura, Y., Kiramura, S., and Yamamoto, K., 1967, On the food quantity of the finless black porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) in captivity, J. Jap. Ass. Zool. Gardens and Aquariums, 9(2): 46—50.

Kataoka T., Kitamura S., Yamamoto K., Menabe S. and Sekido M., 1969, On the external proportions of "finless black porpoise", *Neophocaena phocaenoides*, J. of Jap. Zoo and Aquarium, 11(3).

Kataoka T., Kitamura S., Sekido M., Yamamoto K., Nahamura S. and Kurachi H., 1970, On the transporting and the new exhibition tank of the finless black porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) at Toba Aquarium, J. of Jap. Zoo and Aquarium, 7(1).

Kataoka T., Kitamura S., Sekido M. and Yamamoto K., 1973, On the daily frequency of feeding and the amount of food consumed by the finless black porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, in captivity, J. of Jap. Zoo and Aquarium, 15(4).

Kataoka T., Furuta M. and Kitamura S., 1974, On the feeding to the newly captured finless black porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, J. of Jap. Zoo and Aquarium, 16(1).

Kataoka T., Kitamura S., Sekido M. and Yamamoto K., 1977, On the feeding habit of finless black porpoise (*Neophocaena phocaenoides*), Report on the rearing and behavior of finless black porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) in Toba Aquarium, Toba Aquarium.

Liu Renjun, 1986, Study on the regularity of reproduction in *Lipotes*, Aquatic Mammals, 14(2): 63—68.

Mitchell E., 1975, Report of the meeting on smaller cetaceans, Montreal, April 1—11, 1974, J. Fish Res. Board Can., 32(7): 889—983.

Palmer T. S., 1899, Notes on three genera of dolphins, Proc. Bio. Soc. Washington, 13: 23—24.

Pilleri, G. and Chen Peixun, 1979, How the finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis*) carries its calves on its back, and the function of the denticulated area of skin, as observed in the Changjiang River, China, Investigations on Cetacea, X : 105—109.

Pilleri G. and Gihr M., 1972, Contribution to the knowledge of the Cetaceans of Pakistan with particular reference to the Genera *Neomeris*, *Delphinus* and *Tursiops* and description of a new Chinese porpoise (*Neomeris asiaeorientalis*), Investigations on Cetacea, 4 : 107—162.

Pilleri G. and Gihr M., 1975, On the taxonomy and ecology of the finless black porpoise, *Neophocaena* (Cetacean, Delphinedae), Mammalia, 39 : 657—673.

Ping C., 1925, Preliminary observations on the osteology of *Neomeris phocaenoides*, Contrib. Biol. Lab. Sci. Soc. China Zool. Ser., 1(2): 1—22.

Shirakihara M., Takemura A. and Shirakihara K., 1993, Age, growth, and reproduction of the finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, in the coastal waters of Western Kyushu, Japan. Marine Mammal Science, 9(4): 392—406.

Uchida Y., 1987, Several properties of the blood of finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, in captivity, J. of Jap. Zoo and Aquarium, 29(1).

Van Bree P. J. H., 1973, *Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis* (Pilleri and Gihr, 1973), a synonym of the preoccupied name *Delphinus melas Schlegel*, 1841, Beaufortia, 21(274): 17—24.

Zhou Kaiya, Gao Anli and Sun Jiang, 1993, Notes on the biology of the finless porpoise in Chinese waters, IBI Reports, No. 4 : 69—74.

附录　鲸类学名及中、英文俗名对照名录

List of Chinese, English and scientific names of cetaceans

学　　名		英文俗名	中文名	
			我国大陆[1]	台湾省[2]
Suborder Odontoceti (toothed whales)	齿鲸亚目			
Superfamily Platanistoidea	淡水豚总科			
Family Platanistidae	恒河豚科			
Platanista gangetica		Ganges river dolphin	恒河豚	恒河豚
Platanista minor		Indus river dolphin	印河豚	印河豚
Family Pontoporiidae	拉河豚科			
Lipotes vexillifer		Baiji, Yangtze river dolphin	白鱀豚	白鱀豚
Pontoporia blainvillei		Franciscana, La Plata dolphin	普河豚	拉河豚
Family Iniidae	亚河豚科			
Inia geoffrensis		Boto, Amazon river dolphin	亚河豚	亚河豚
Superfamily Delphinoidea	海豚总科			
Family Monodontidae	一角鲸科			
Delphinapterus leucas		White whale, Beluga	白鲸	白鲸
Monodon monoceros		Narwhal	一角鲸	一角鲸
Family Phocoenidae	鼠海豚科			
Phocoena phocoena		Harbour porpoise	鼠海豚	港湾鼠海豚
Phocoena spinipinnis		Burmeister's porpoise	棘鳍鼠海豚	棘鳍鼠海豚
Phocoena sinus		Vaquite	小头鼠海豚	加湾鼠海豚
Neophocaena phocaenoides		Finless porpoise	江豚	露脊鼠海豚
Phocoena (= *Australo phocaena*) *dioptrica*		Spectacled porpoise	黑眶鼠海豚	黑眶鼠海豚
Phocoenoides dalli		Dall's porpoise	白胸拟鼠海豚	白腰鼠海豚
Family Delphinidae	海豚科			
Steno bredanensis		Rough-toothed dolphin	纹齿长吻海豚	皱齿海豚
Sousa chinensis		Indo-Pacific hump-backed dolphin	中华白海豚	太平洋驼海豚
Sousa teuszii		Atlantic hump-backed dolphin	西非白海豚	大西洋驼海豚

学名		英文俗名	中文名	
			我国大陆[1]	台湾省[2]
Sotalia fluviatilis		Tucuxi	侏型海豚	亚马逊海豚
Lagenorhynchus albirostris		White-beaked dolphin	白喙斑纹海豚	白喙斑纹海豚
Lagenorhynchus acutus		Atlantic white-sided dolphin	白腰斑纹海豚	大西洋斑纹海豚
Lagenorhynchus obscurus		Dusky dolphin	暗色斑纹海豚	暗色斑纹海豚
Lagenorhynchus obliquidens		Pacific white-sided dolphin	镰鳍斑纹海豚	太平洋斑纹海豚
Lagenorhynchus cruciger		Hourglass dolphin	间纹斑纹海豚	沙漏斑纹海豚
Lagenorhynchus australis		Peale's dolphin	南方斑纹海豚	皮氏斑纹海豚
Grampus griseus		Risso's dolphin	灰海豚	花纹海豚
Tursiops truncatus		Bottlenose dolphin	宽吻海豚	瓶鼻海豚
Tursiops truncatus truncatus				太平洋瓶鼻海豚
Tursiops truncatus adancus				南方瓶鼻海豚
Stenella frontalis		Atlantic spotted dolphin	花斑原海豚	大西洋斑海豚
Stenella attenuata		Pantropical spotted dolphin	白点原海豚	热带斑海豚
Stenella longirostris		Spinner dolphin	长吻原海豚	长吻飞旋海豚
Stenella clymene		Clymene dolphin		短吻飞旋海豚
Stenella coeruleoalba		Striped dolphin	条纹原海豚	条纹海豚
Delphinus delphis		Common dolphin	真海豚	真海豚
Lagenodelphis hosei		Fraser's dolphin	沙劳越海豚	弗氏海豚
Lissodelphis borealis		Northern right whale dolphin	北鲸豚	北露脊海豚
Lissodelphis peronii		Southern right whale dolphin	南鲸豚	南露脊海豚
Cephalorhynchus commersonii		Commerson's dolphin	黑白驼背豚	康氏海豚
Cephalorhynchus eutropia		Black dolphin, Chilean dolphin	南美驼背豚	黑海豚
Cephalorhynchus heavisidii		Heaviside's dolphin	虎鲸纹驼背豚	海威氏海豚
Cephalorhynchus hectori		Hector's dolphin	驼北豚	贺克氏海豚
Peponocephala electra		Melon-headed whale	瓜头鲸	瓜头鲸
Feresa attenuata		Pygmy killer whale	侏虎鲸	小虎鲸

(续上表)

学　　名		英文俗名	中文名	
			我国大陆[1)]	台湾省[2)]
Pseudorca crassidens		False killer whale	伪虎鲸	伪虎鲸
Orcinus orca		Killer whale	虎鲸	虎鲸
Globicephala melas		Long-finned pilot whale		长肢圆头鲸
Globicephala macrorhynchus		Short-finned pilot whale	大吻领航鲸	短肢圆头鲸
Orcaella brevirostris		Irrawaddy dolphin	伊河鲸	伊河海鲸
Superfamily Ziphioidea	喙鲸总科			
Family Ziphiidae	喙鲸科			
Tasmacetus shepherdi		Shepherd's beaked whale	塔鲸	谢氏喙鲸
Berardius bairdii		Baird's beaked whale	槌鲸	贝尔氏喙鲸
Berardius arnuxii		Arnoux's beaked whale	南槌鲸	阿诺氏喙鲸
Mesoplodon pacificus		Longman's beaked whale	澳南喙鲸	朗文氏喙鲸
Mesoplodon bidens		Sowerby's beaked whale	大西洋喙鲸	梭氏喙鲸
Mesoplodon densirostris		Blainville's beaked whale	瘤齿喙鲸	布兰氏喙鲸
Mesoplodon europaeus		Gervais' beaked whale	美洲喙鲸	杰氏喙鲸
Mesoplodon layardii		Strap-toothed whale	带齿喙鲸	长齿喙鲸
Mesoplodon hectori		Hector's beaked whale	高额喙鲸	贺克氏喙鲸
Mesoplodon grayi		Gray's beaked whale	新西洋喙鲸	哥瑞氏喙鲸
Mesoplodon stejnegeri		Stejneger's beaked whale	扇齿喙鲸	史坦氏喙鲸
Mesoplodon bowdoini		Andrew's beaked whale	南太喙鲸	安竹氏喙鲸
Mesoplodon mirus		True's beaked whale	端齿喙鲸	初氏喙鲸
Mesoplodon ginkgodens		Ginkgo-toothed beaked whale	日本喙鲸	银杏齿喙鲸
Mesoplodon carlhubbsi		Hubb's beaked whale	扁齿喙鲸	胡氏喙鲸
Mesoplodon peruvianus		Peruvian beaked whale		秘鲁喙鲸
Ziphius cavirostris		Cuvier's beaked whale	剑吻鲸	柯维氏喙鲸

(续上表)

学名		英文俗名	中文名	
			我国大陆[1]	台湾省[2]
Hyperoodon ampullatus		Northern bottlenose whale	北胆鼻鲸	北瓶鼻鲸
Hyperoodon planifrons		Southern bottlenose whale	南胆鼻鲸	南瓶鼻鲸
Hyperoodon sp.				鼻鲸属未定种
Superfamily Physeteroidea	抹香鲸总科			
Family Physeteridae	抹香鲸科			
Physeter macrocephalus (= *catodon*)		Sperm whale	抹香鲸	抹香鲸
Family Kogiidae	小抹香鲸科			
Kogia breviceps		Pygmy sperm whale	小抹香鲸	小抹香鲸
Kogia simus		Dwarf sperm whale	拟小抹香鲸	侏儒抹香鲸
Suborder Mysticeti (baleen whales)	须鲸亚目			
Family Balaenidae	露脊鲸科			
Balaena mysticetus		Bowhead	北极露脊鲸	北极鲸
Eubalaena glacialis		Northern right whale	黑露脊鲸	北露脊鲸
Eubalaena australis		Southern right whale		南露脊鲸
Family Neobalaenidae	小露脊鲸科			
Caperea marginata		Pygmy right whale	小露脊鲸	小露脊鲸
Family Eschrichtiidae	灰鲸科			
Eschrichtius robustus		Gray whale	灰鲸	灰鲸
Family Balaenopteridae	须鲸科			
Balaenoptera acutorostrata		Minke whale	小须鲸	小须鲸
Balaenoptera borealis		Sei whale	大须鲸	塞鲸
Balaenoptera edeni		Bryde's whale	拟大须鲸	布氏鲸
Balaenoptera musculus		Blue whale	蓝鲸	蓝鲸
Balaenoptera physalus		Fin whale	长须鲸	长须鲸
Megaptera novaeangliae		Humpback whale	座头鲸	大翅鲸

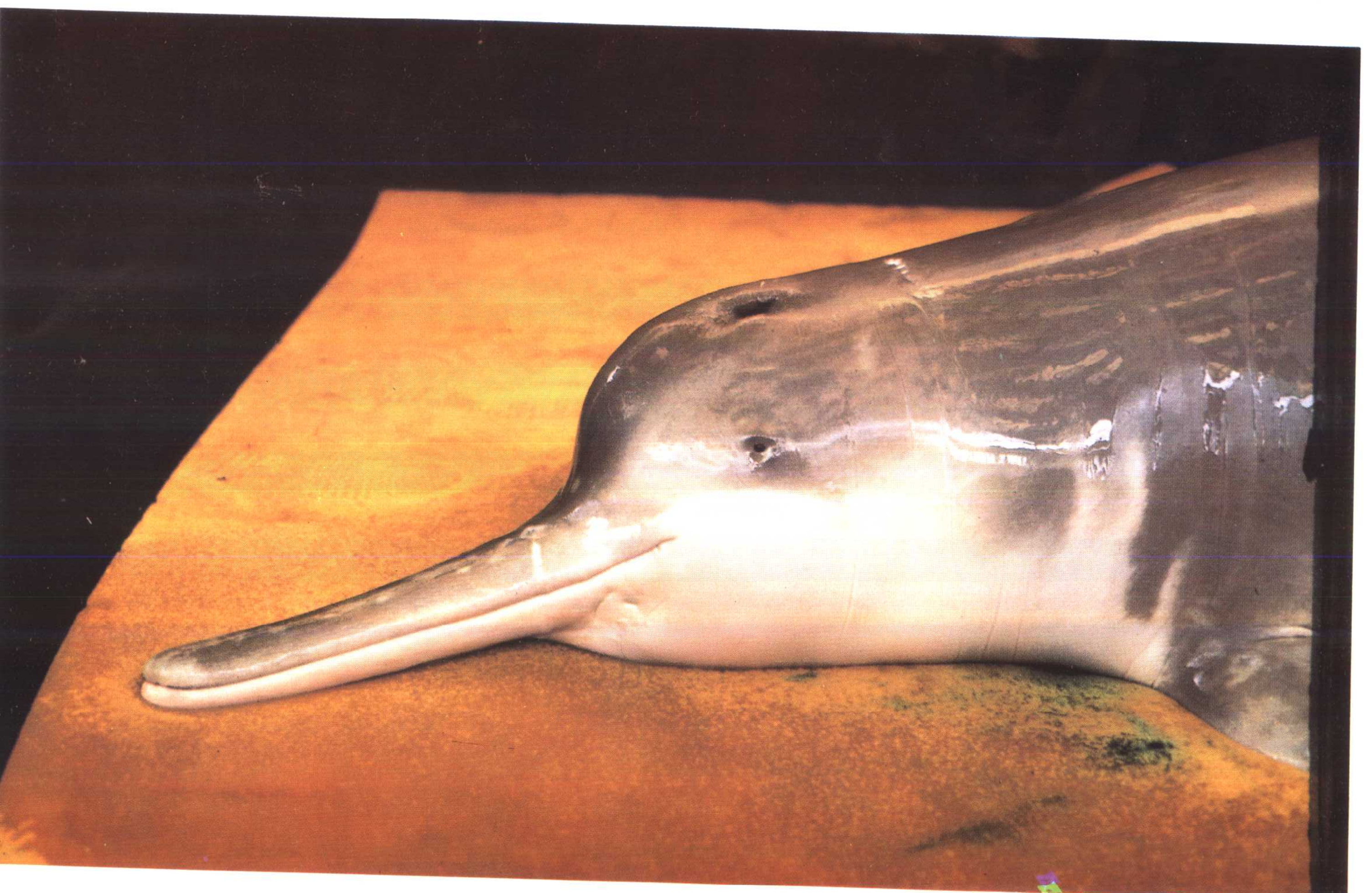
1) 主要参照陈万青编《海兽检索手册》,1978,科学出版社,北京。

2) 参照周莲香著《台湾鲸类图鉴》,1994,国立海洋生物博物馆筹备处出版。



白鱀豚（*Lipotes vexillifer*）“淇淇”　Beiji（*Lipotes vexillifer*）　“Qi Qi”

图版 Ⅱ



“淇淇”的头部　Head of “Qi Qi”





a. 中国科学院水生生物研究所白暨豚馆全貌　The New Baiji Aquarium in the Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences (CAS); b. 白暨豚馆前门　The front door of the new Baiji Aquarium.

图版Ⅳ



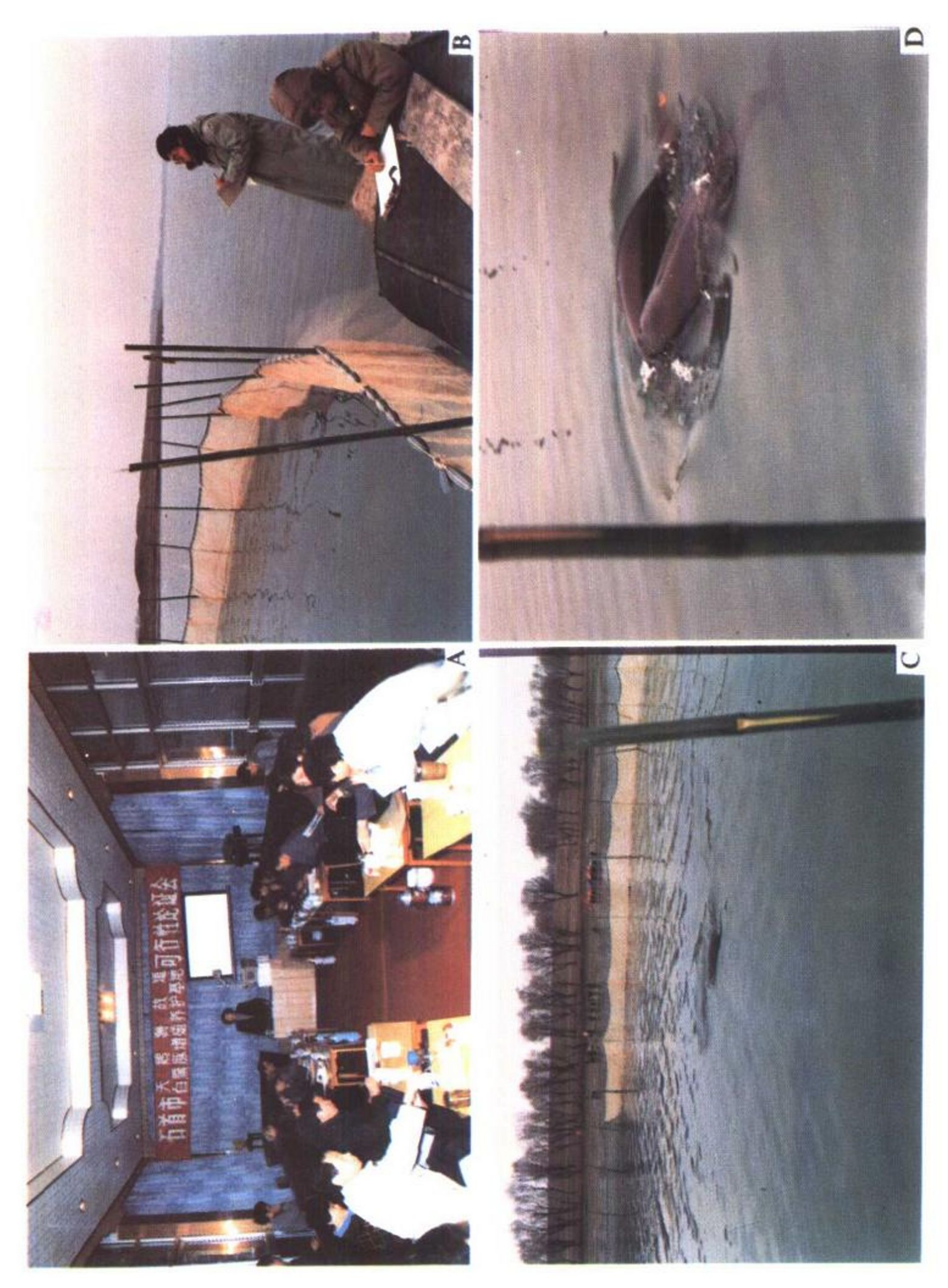


A. 1986 年在武汉召开"淡水豚类生物学和物种保护"国际学术讨论会 The international workshop at Wuhan; B. 中国科学院水生生物研究所科研人员与 Dr. Perrin 合影 Dr. Perrin and staff of Institute of Hydrobiolgy at workshop in 1986.

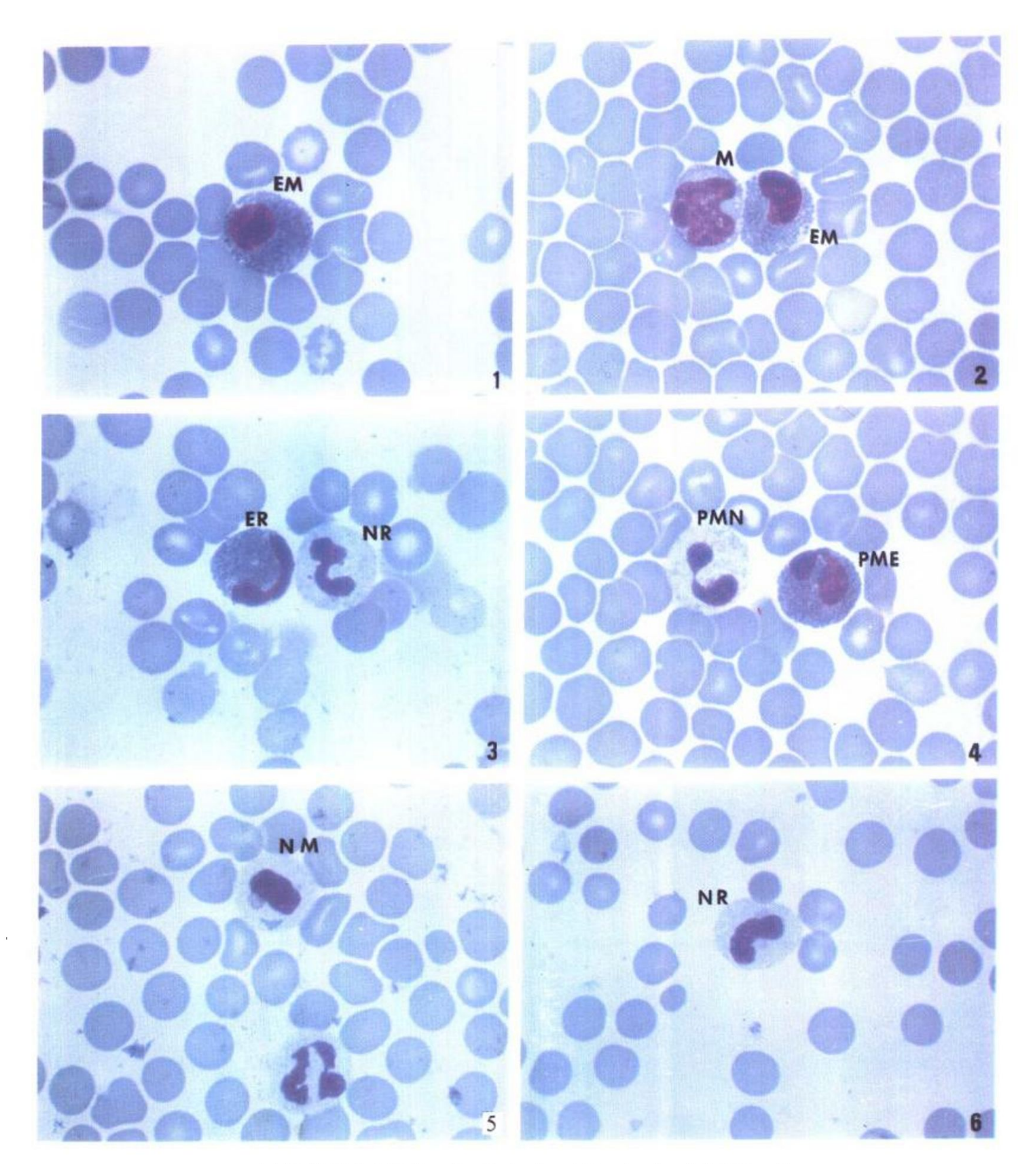


A. 挽救濒危物种白暨豚捐款仪式 The contribute ceremony for saving Baiji; B. 陈慕华同志向中国科学院水生生物研究所所长授捐款 Chen Muhua hand the contribute fund to prof. Liu.

图版Ⅵ



A. 天鹅洲白鳖豚保护区可行性论证会 The meeting for feasible demonstration of Tian-e-zhou Baiji seminatural reserve; B. 科研人员在天鹅洲保护区工作 Staff are observing the finless porpoise in the reserve; C. 天鹅洲白鳖豚保护区 Tain-e-zhou baiji semi-natural reserve; D. 江豚生活在保护区 The finless porpoise in reserve.

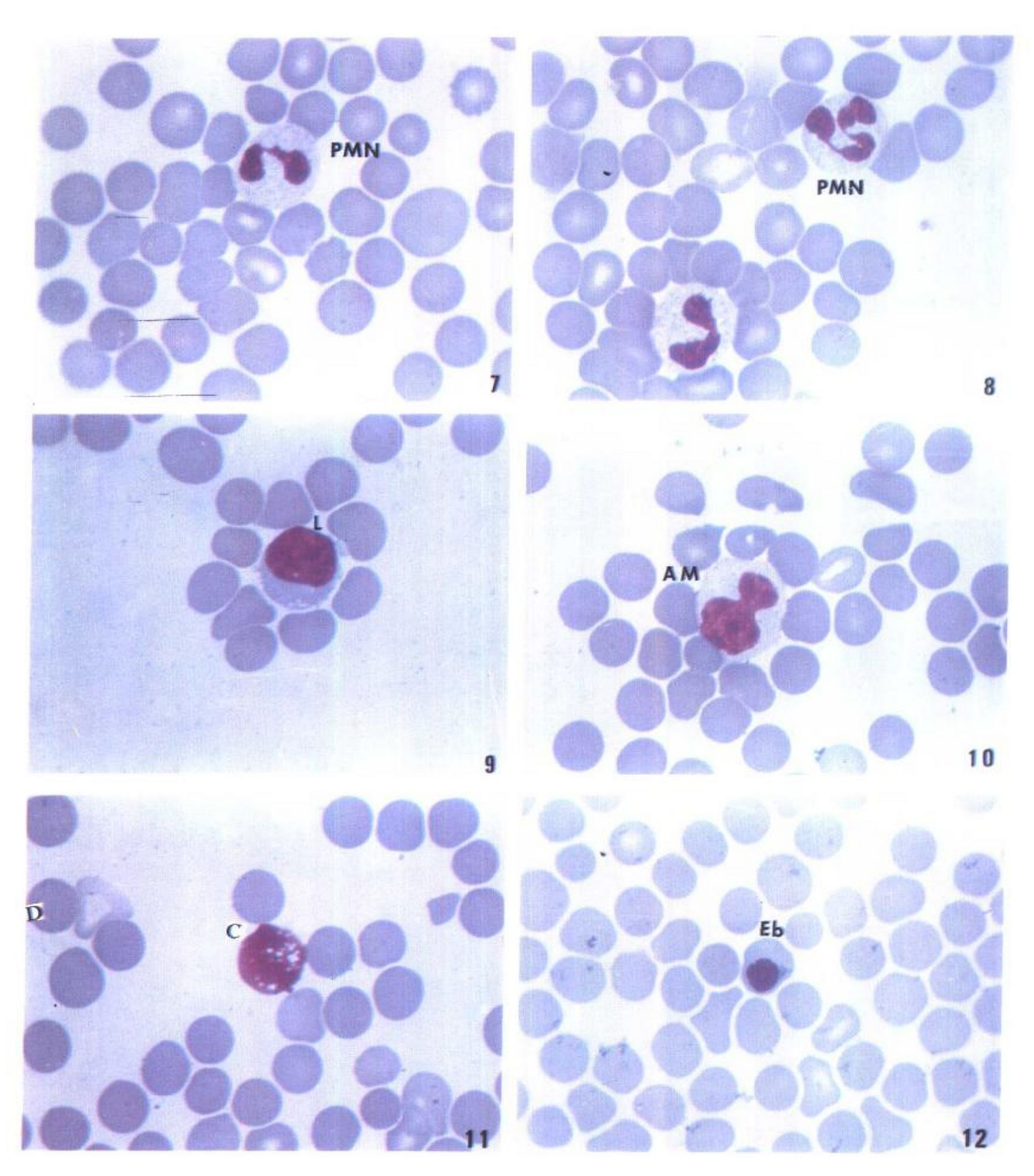


白鱀豚外周血细胞(1～6)　Perinpheral blood cells of Baiji(1～6)

1. EM 嗜酸性幼粒细胞　Eosinophilic matemyelocyte；　2. EM，M 嗜酸性晚幼粒细胞，单核细胞　Eosinophilic matemyelocyte, Monocyte；　3. ER，NR 嗜酸性杆状核粒细胞，嗜中性杆状核粒细胞　Eosinophilic rod, Neutrophilic rod；　4. PME，　PMN 嗜酸性分叶核粒细胞，　嗜中性分叶核粒细胞　Polymorphous eosinophil, Polymorphous neutrophil；5. NM，PMN 嗜中性晚幼粒细胞，嗜中性分叶核粒细胞　Neutrophilic matemyelocyte, Polymorphous neutrophil；6. NR 嗜中性杆状核粒细胞　Neutrophilic rod.

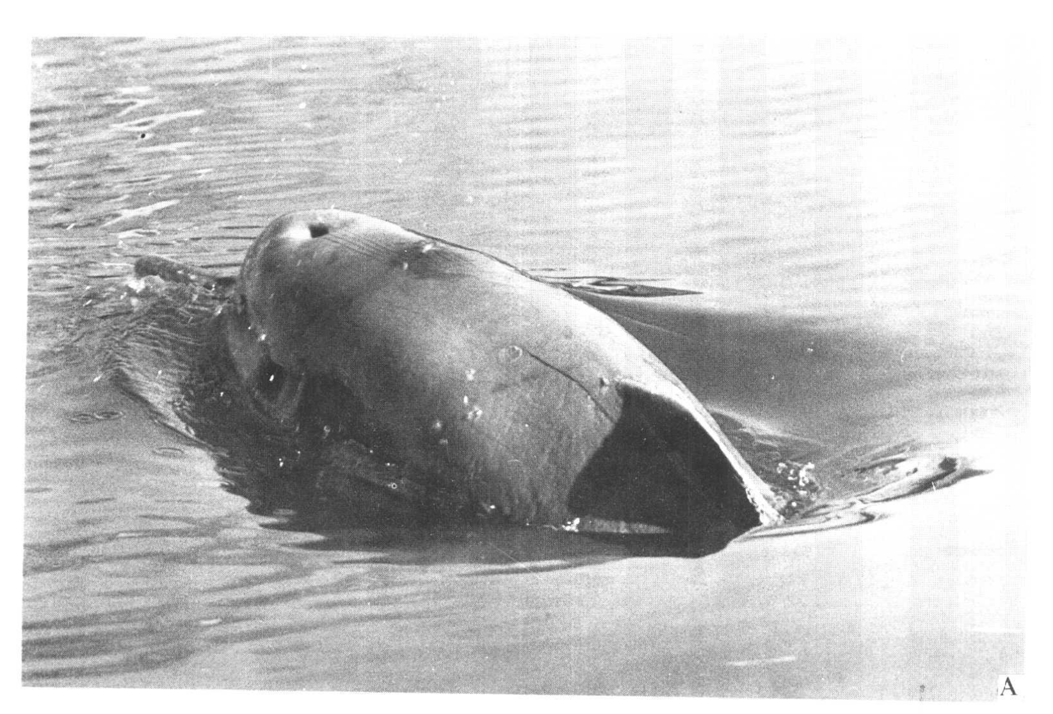
（陈道权制片及摄影）

图版Ⅷ



白暨豚外周血细胞(7～12) Peripheral blood cells of Baiji(7～12)

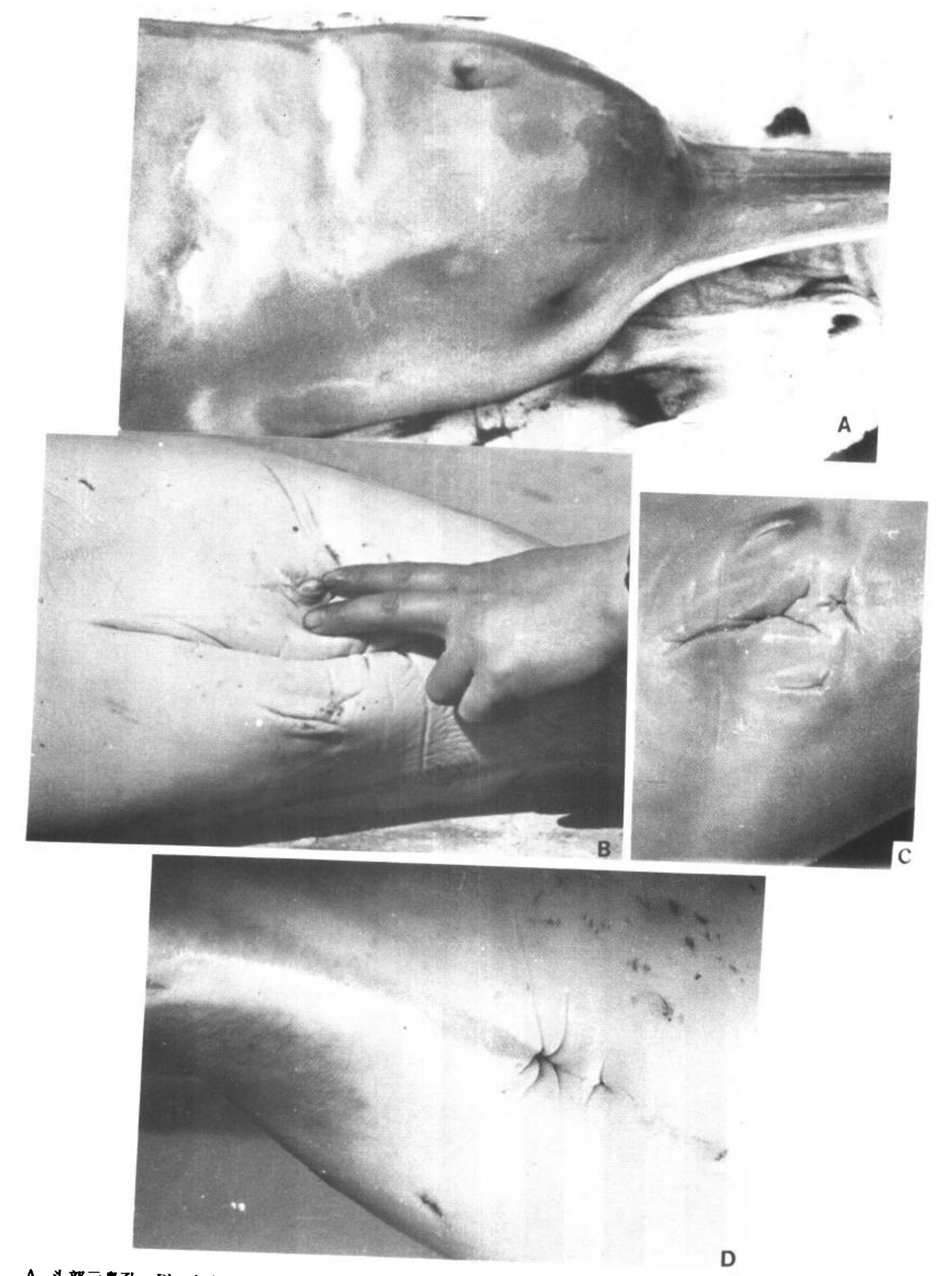
7～8. PMN 嗜中性分叶核粒细胞 Polymorphous neutrophil; 9. L 淋巴细胞 Lymphocyte; 10. AM 异性单核细胞 Abnormal monocyte; 11. DC 退化细胞 Degenerate cell; 12. Eb 晚幼红细胞 Erythroblast.



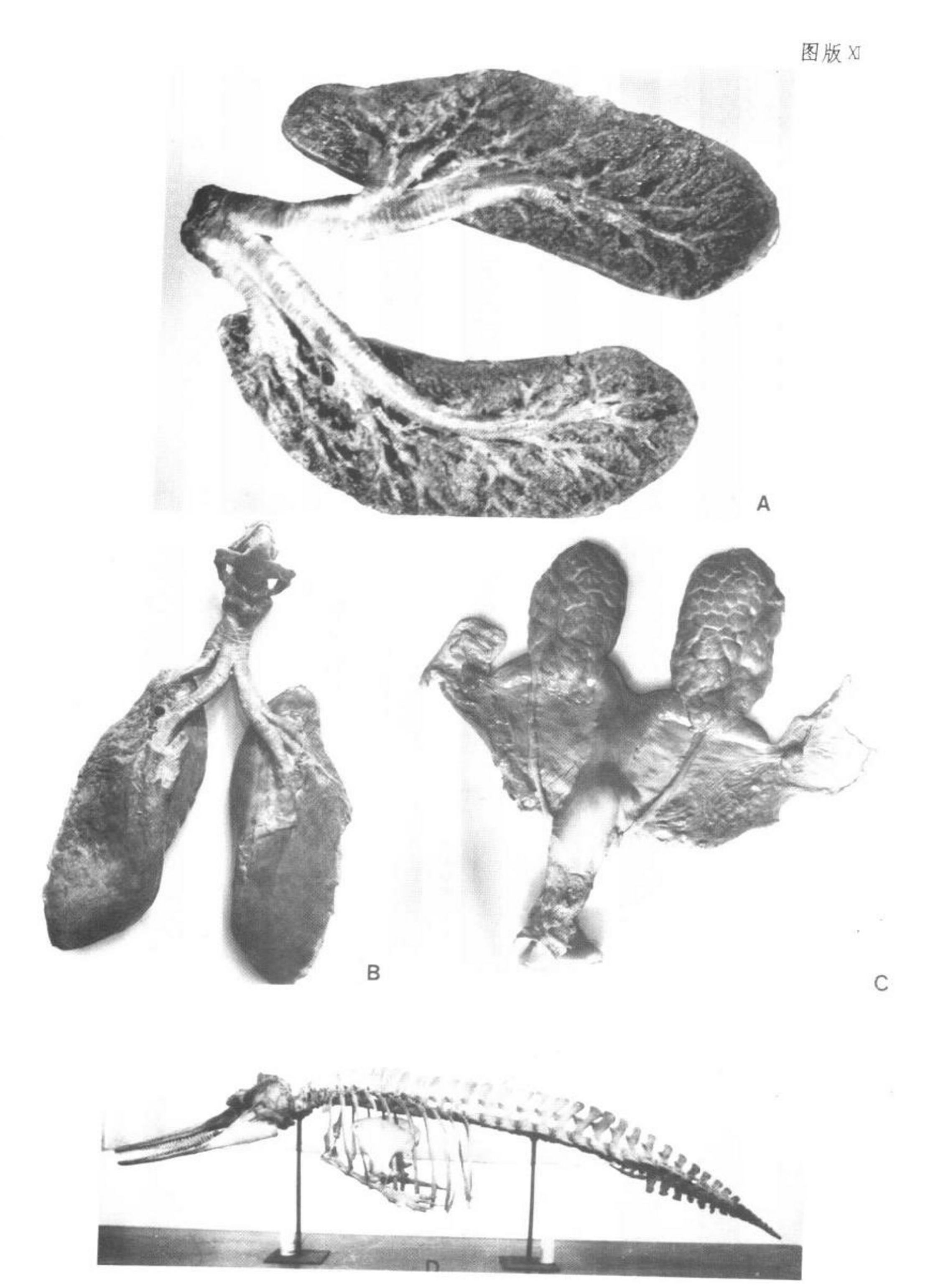


A. 生活在豚池中的“淇淇” Qi Qi live in dolphin pool; B. 古书记载 The record about Baiji in ancient books.

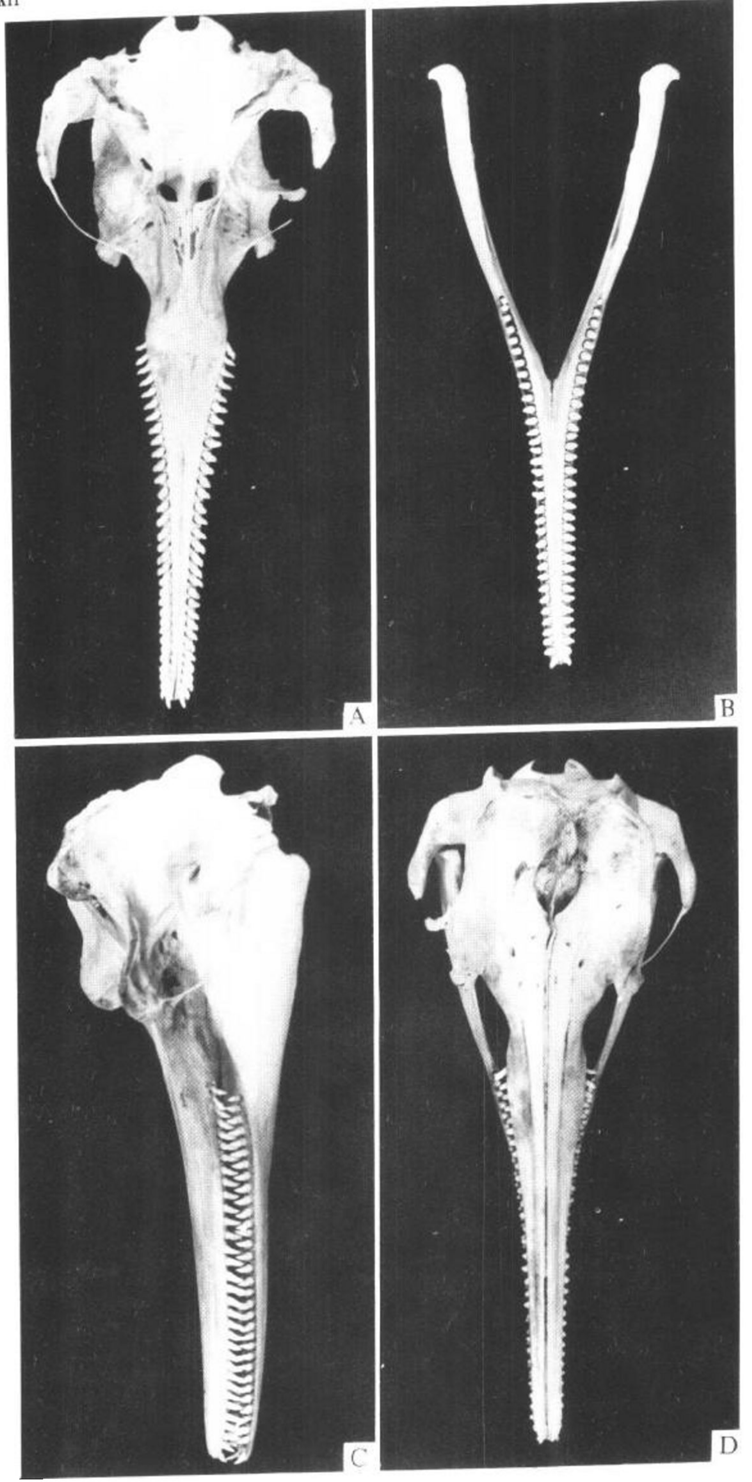
图版 X



A. 头部示鼻孔 Blowhole; B. 乳头 Mammary Papilla; C. 雌性腹部生殖裂及乳裂 The genital slit and mammary slit of female abdomen; D. 雄性腹部生殖裂 The genital slit and anus of male abdomen.



A. 白鳖豚的肺、气管、支气管及小支气管 The lung and tracheal system of Baiji; B. 白鳖豚的喉头、气管、支气管及肺 The larynx, tracheal, branchial tracheal and lung of Baiji; C. 白鳖豚的肾、输尿管及膀胱 The kidney, ureter and bladdes of Baiji; D. 白鳖豚的骨骼系统 The skeleton system of Baiji.



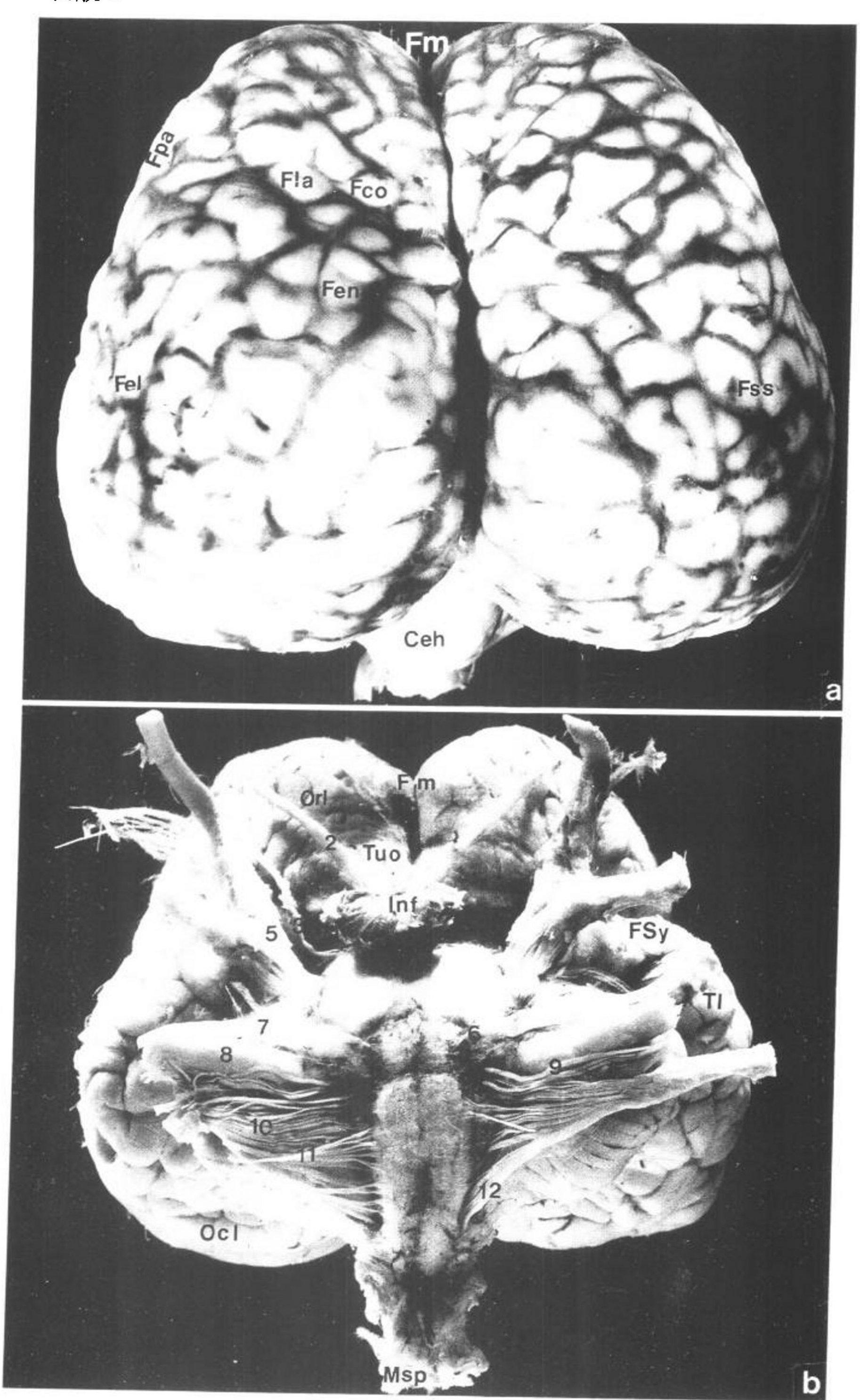
A. 白鳖豚颅骨腹面观 Ventral view of the skull of *Lipotes*; B. 白鳖豚的下颚骨 Mandible of *Lipotes*; C. 白鳖豚颅骨侧面观 Lateral view of the skull of *Lipotes*; D. 白鳖豚颅骨背面观 Dorsal view of the skull of *Lipotes*.





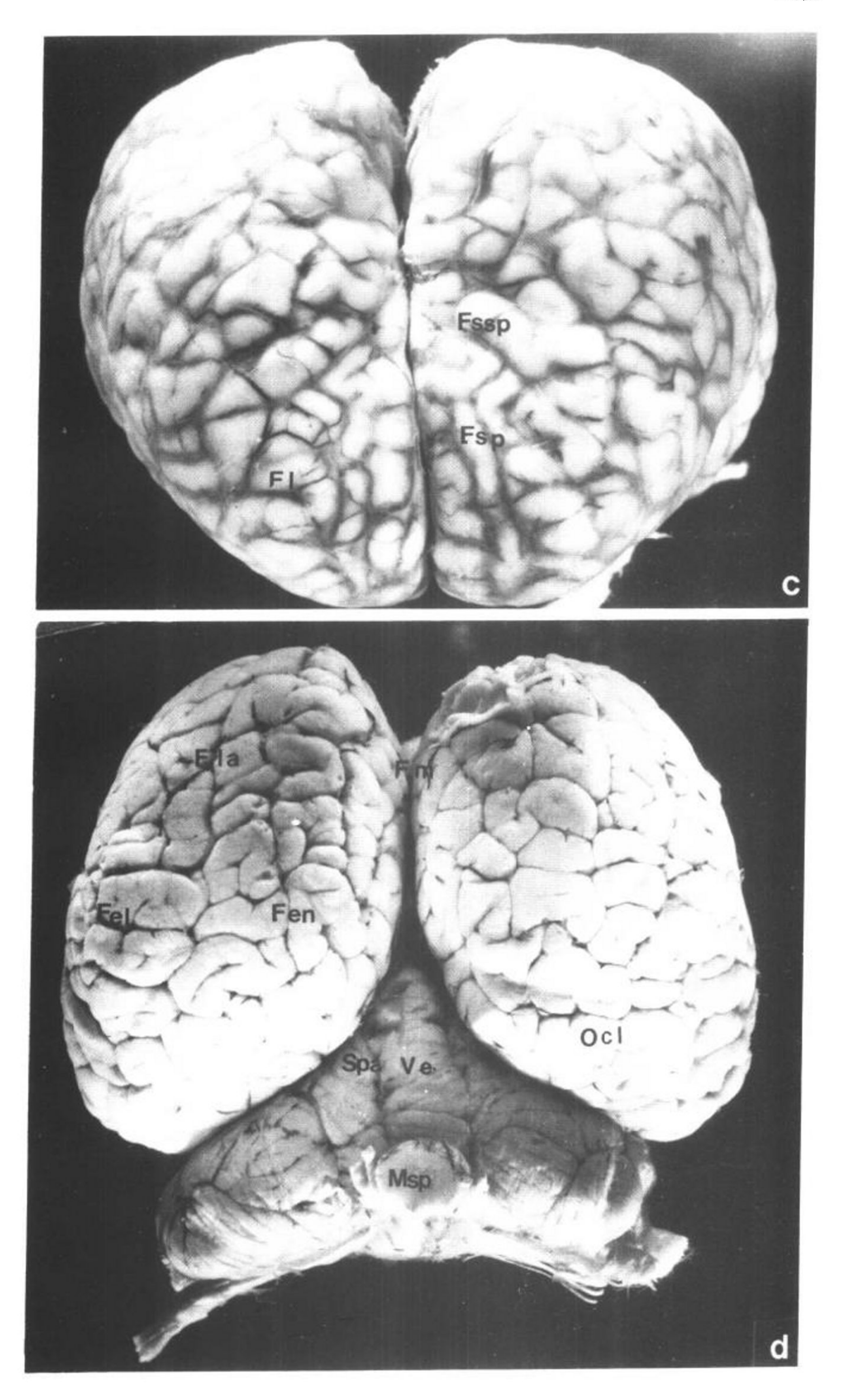
B

A. 白鱀豚的肠 The intestine of Baiji; B. 白鱀豚的胃 The stomach of Baiji.



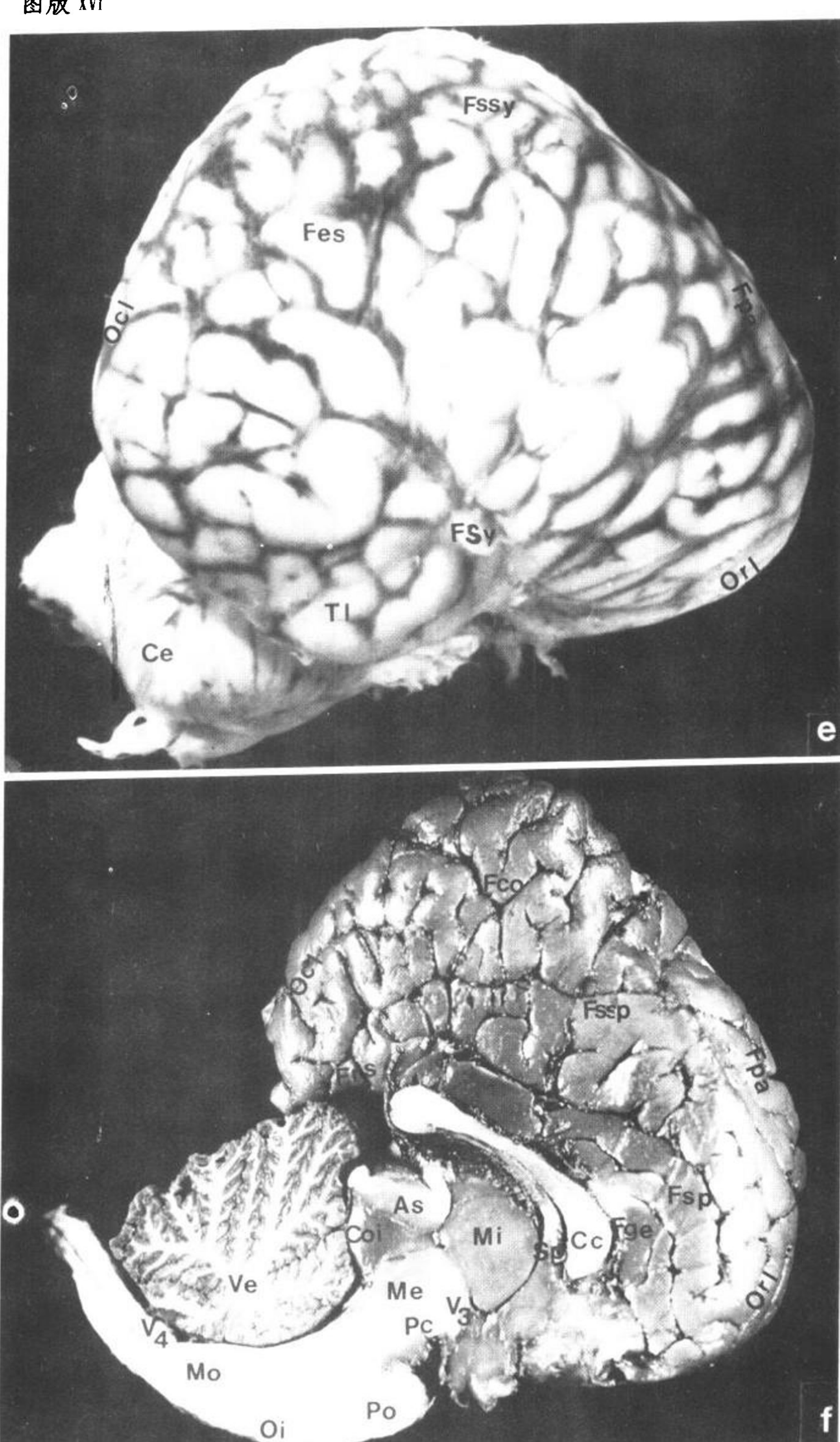
a. 白鳖豚脑背面观 Dorsal view of the brain of Baiji; b. 白鳖豚脑底面观 Ventral view of the brain of Baiji.

（图版 XIV～XVI 制片：陈佩薰、冯文慧、李钟杰，摄影：李万洲）

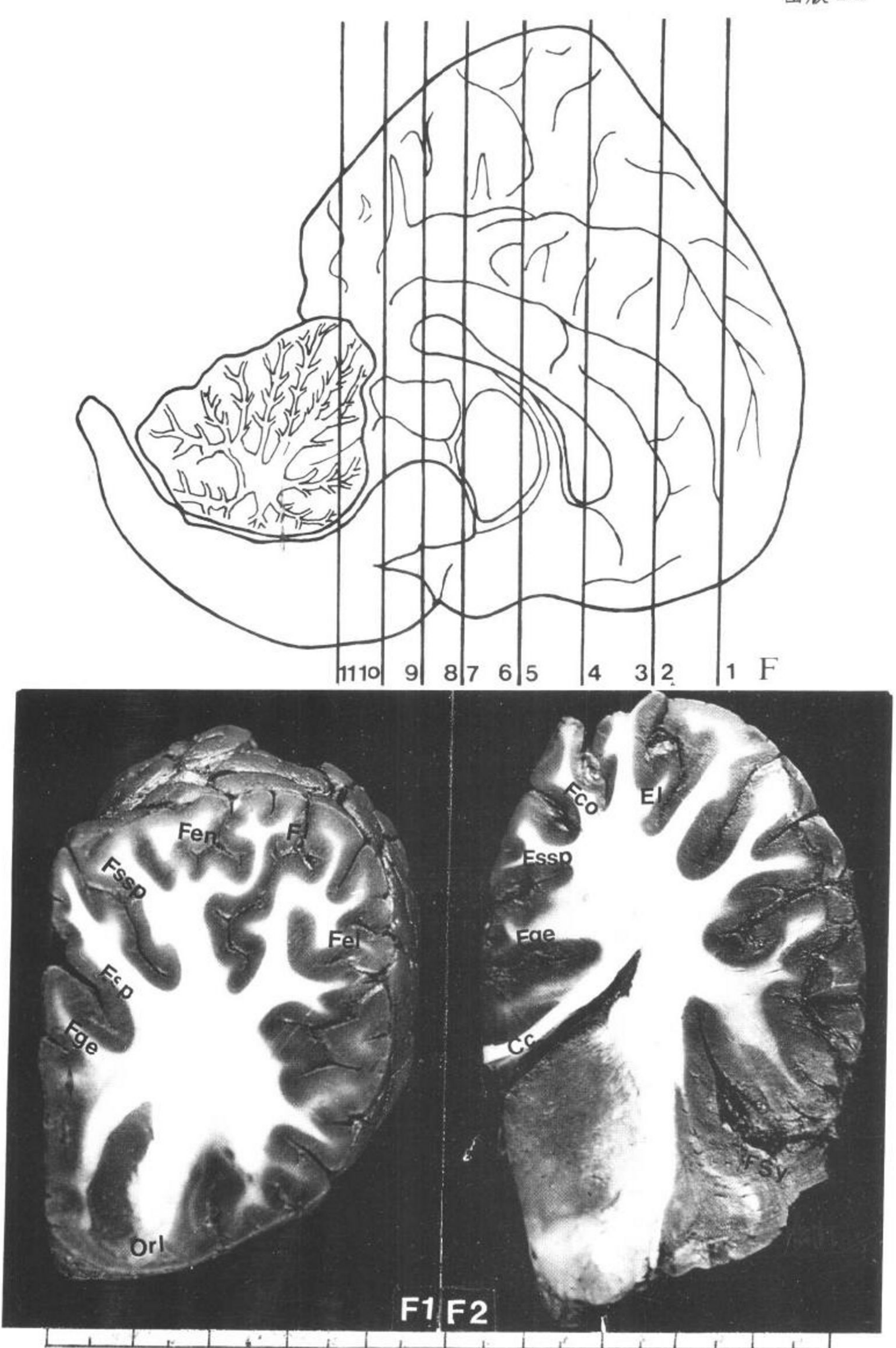


c. 白鳖豚脑吻端面观 Rostral view of the brain of Baiji; d. 白鳖豚脑尾端面观 Caudal view of the brain of Baiji.

图版 XVI

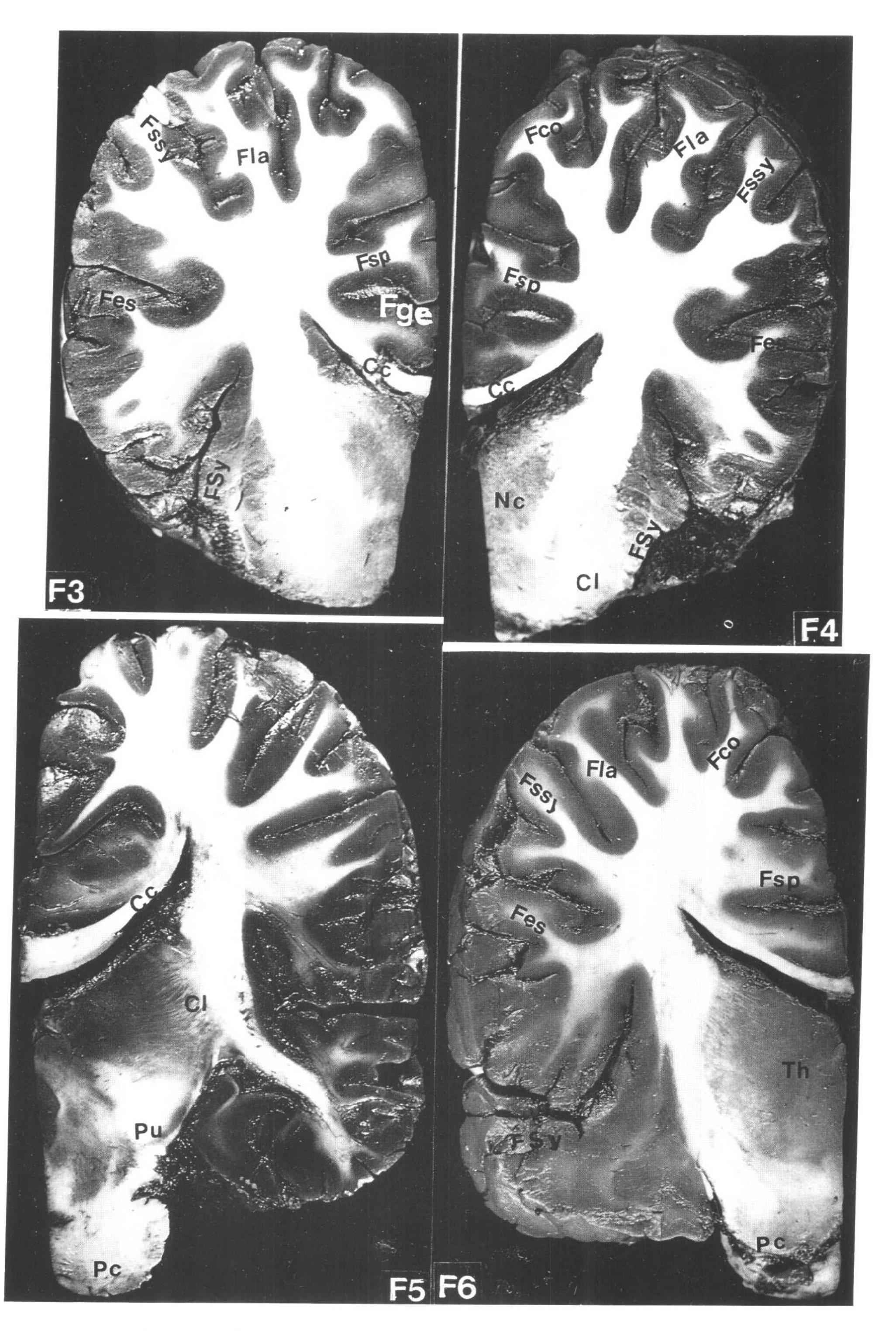


e. 白鱀豚脑侧面观 Lateral view of the brain of Baiji; f. 白鱀豚脑正中内侧面观 Median view of the brain of Baiji.

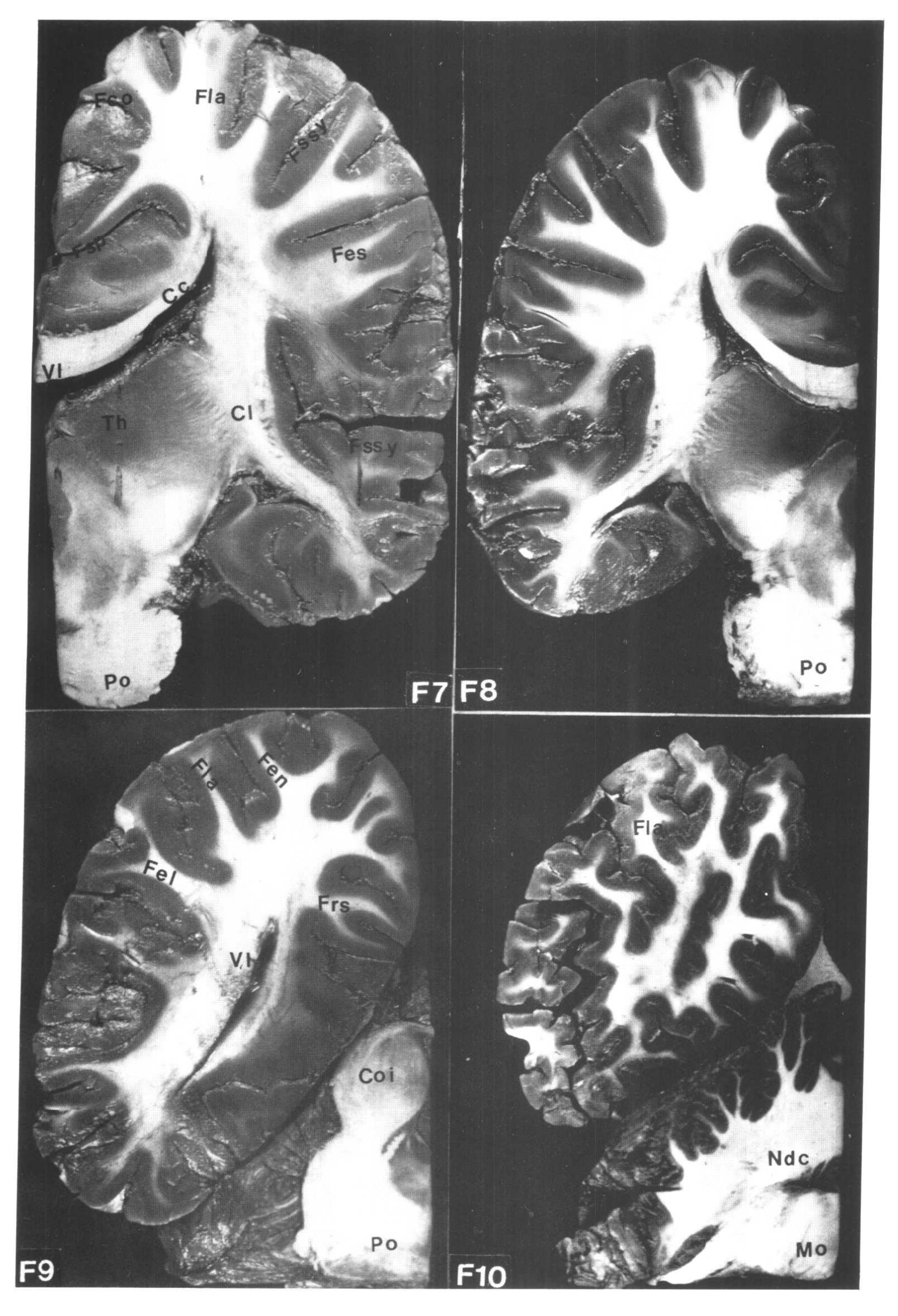


上：白鳖豚脑额横切片示意图(F1—11) Diagram of frontal sections of the brain of Baiji (F1—11)；下：白鳖豚脑额横切片(F1,F2) Frontal sections of the brain of Baiji(F1, F2).

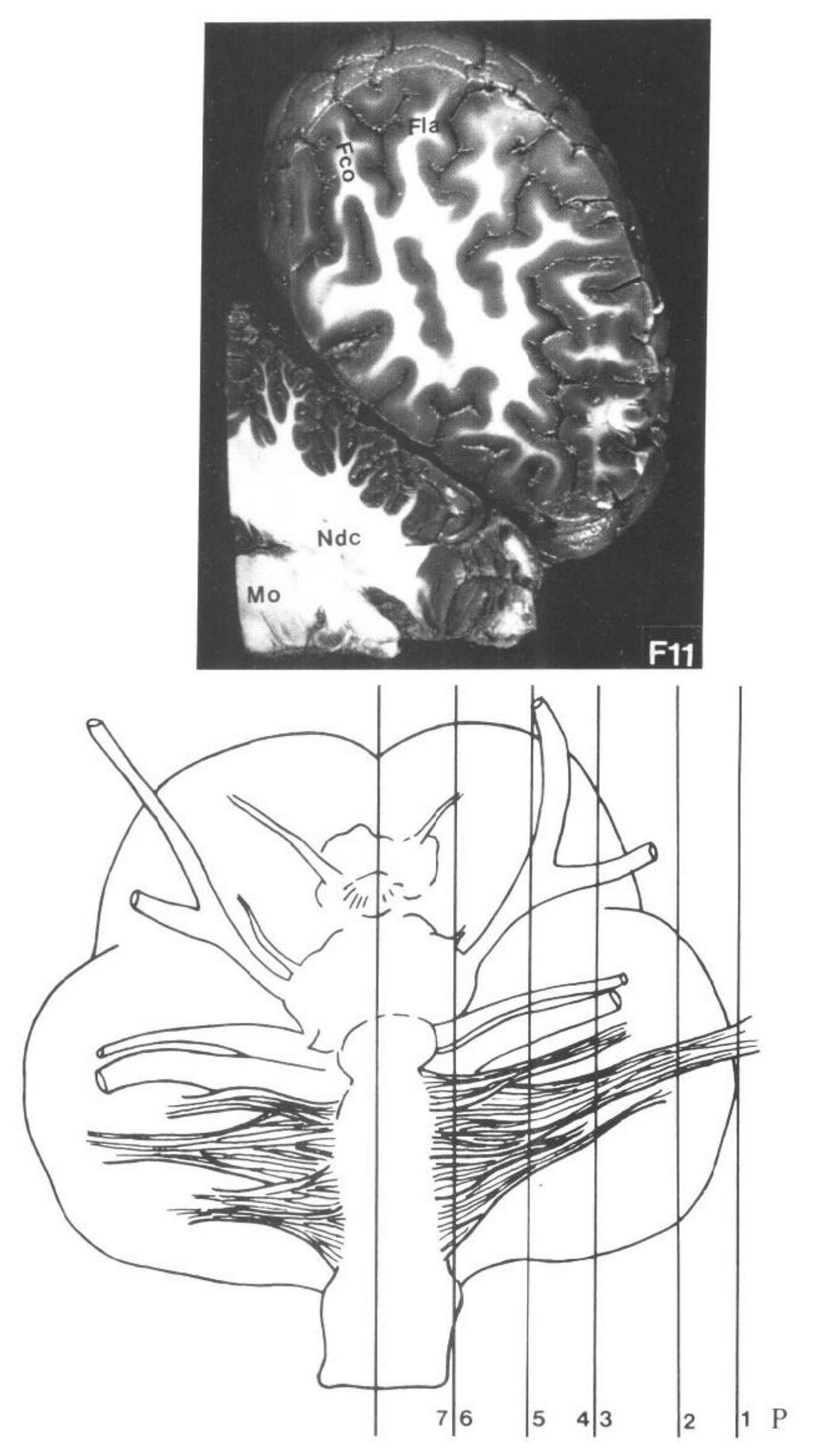
（制片：陈佩薰、冯文慧、李钟杰，摄影：王小强）



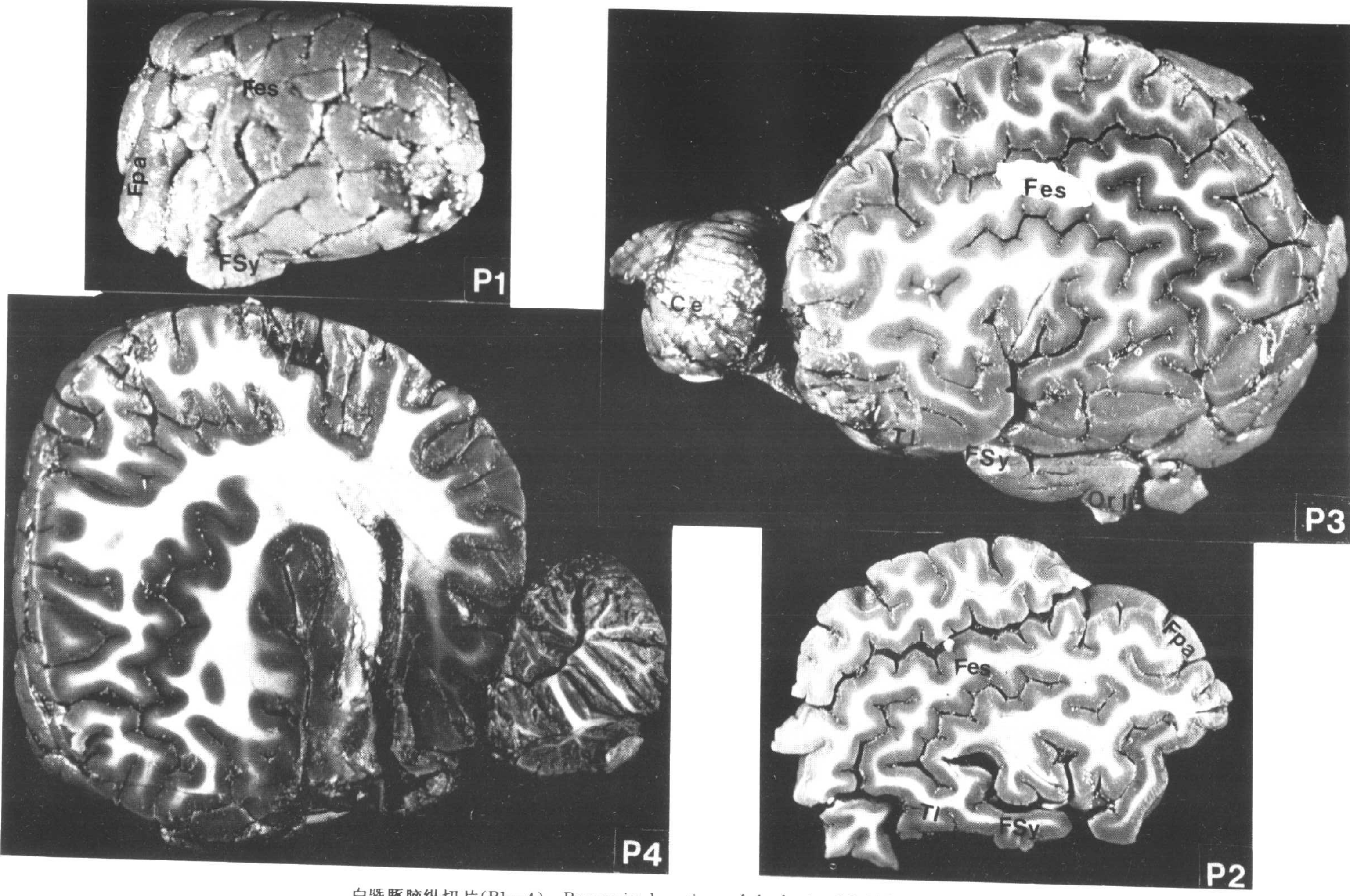
白鳖豚脑额横切片(F3—6)　Frontal sections of the brain of Baiji(F3—6).



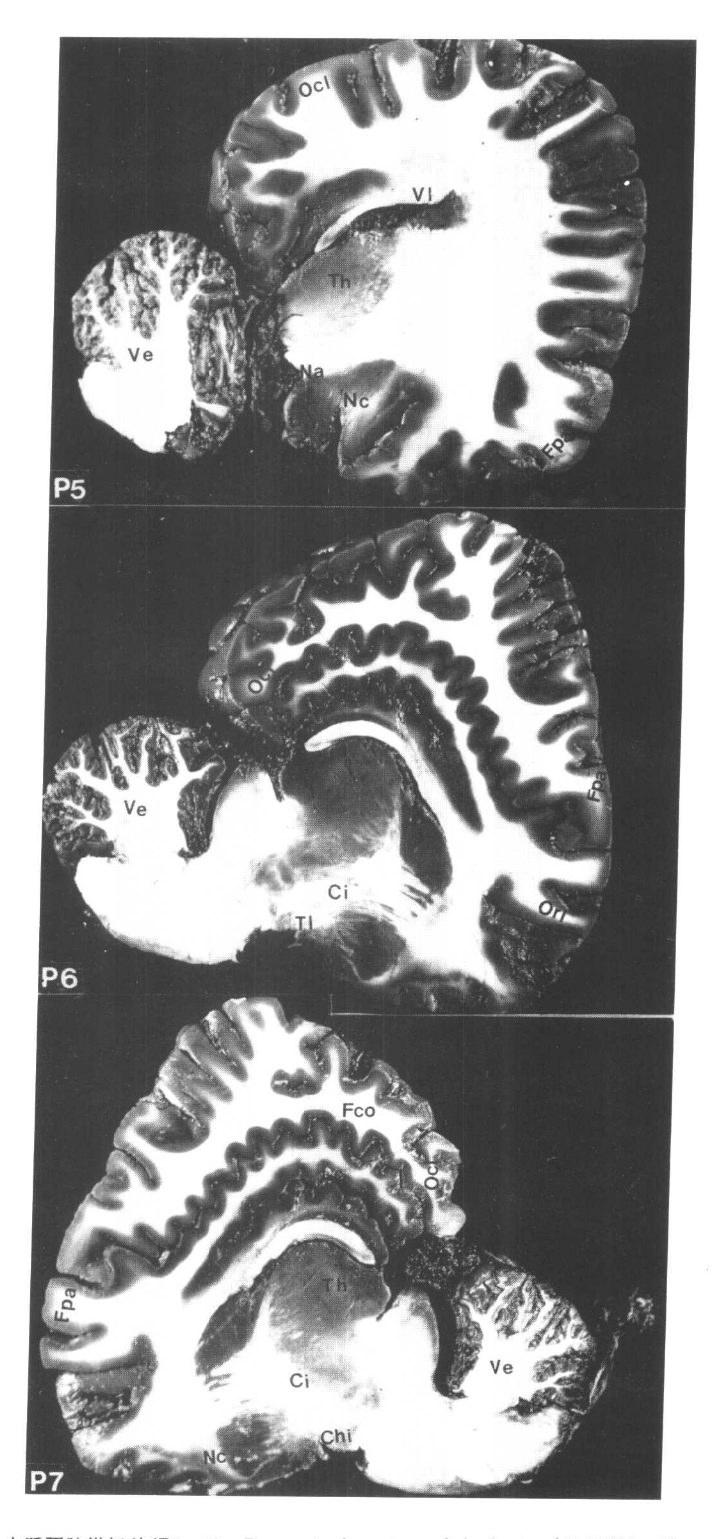
白鳖豚脑额横切片(F7—10)　Frontal sections of the brain of Baiji(F3—6).



白鳖豚脑额横切片(F11)　Frontal sections of the brain of Baiji(F11)；白鳖豚脑纵切片示意图(P1—7) Diagram of Parasgittal sections of the brain of Baiji(P1—7).



白鱀豚脑纵切片(P1—4)　Parasagittal sections of the brain of Baiji(P1—4).

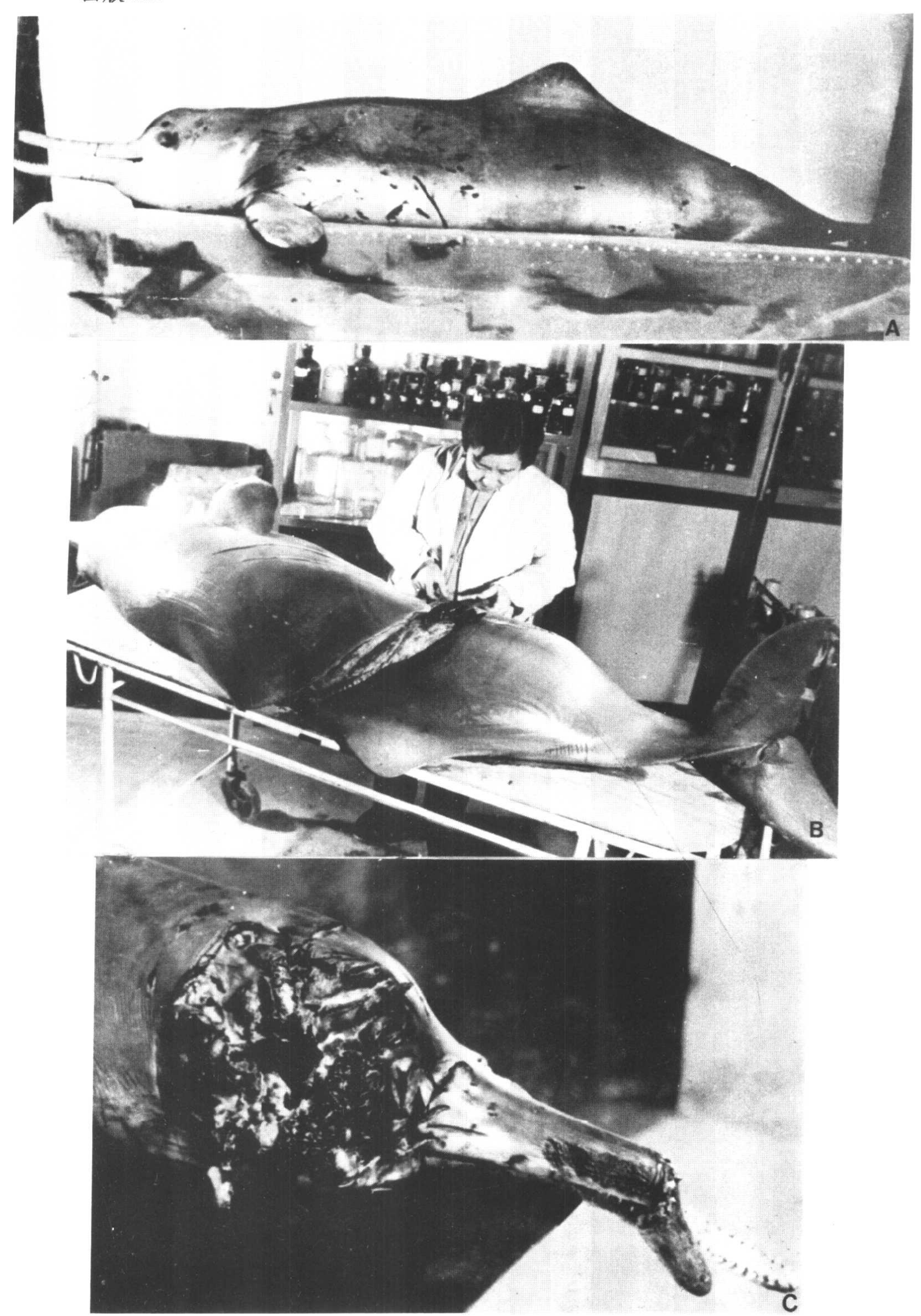


白鳖豚脑纵切片(P5—7)　Parasagittal sections of the brain of Baiji(P5—7).

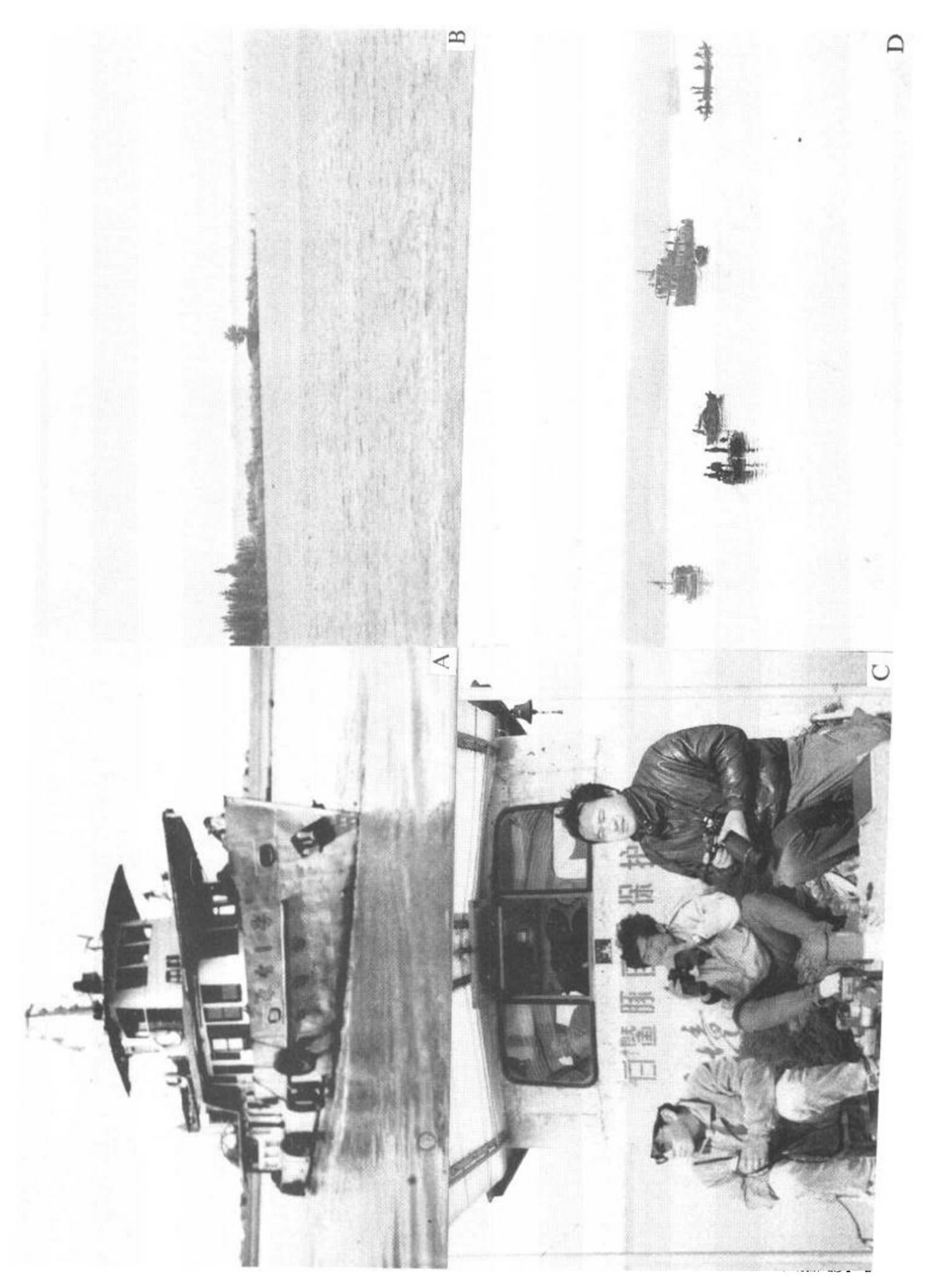


白暨豚牙齿纵切片显示年轮数 Number of annuli appear on longitudinal sections of teeth; A. 0^{+}, B. 2^{+}, C. 9^{+}, D. 14^{+}.

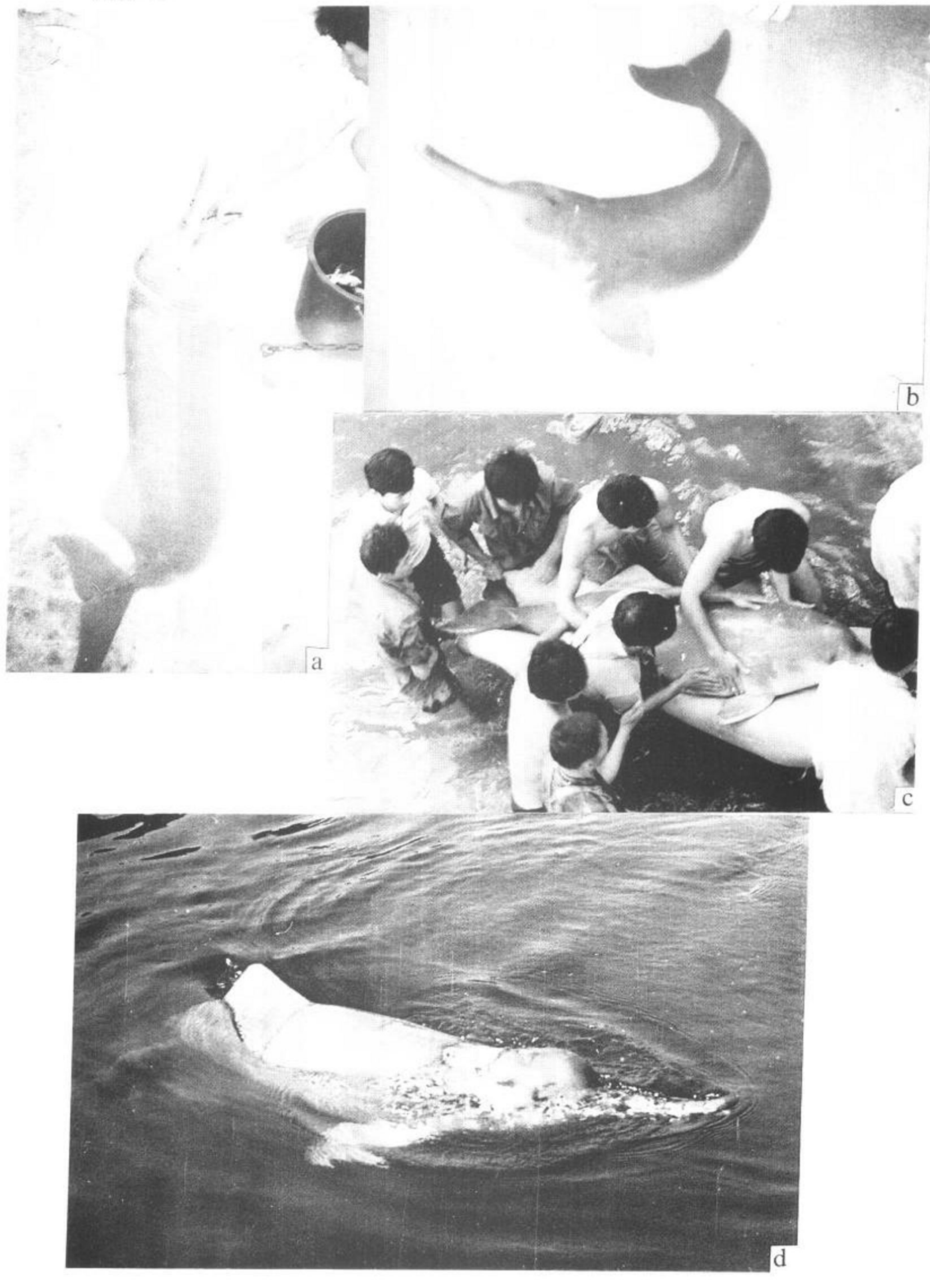
图版 XXIV



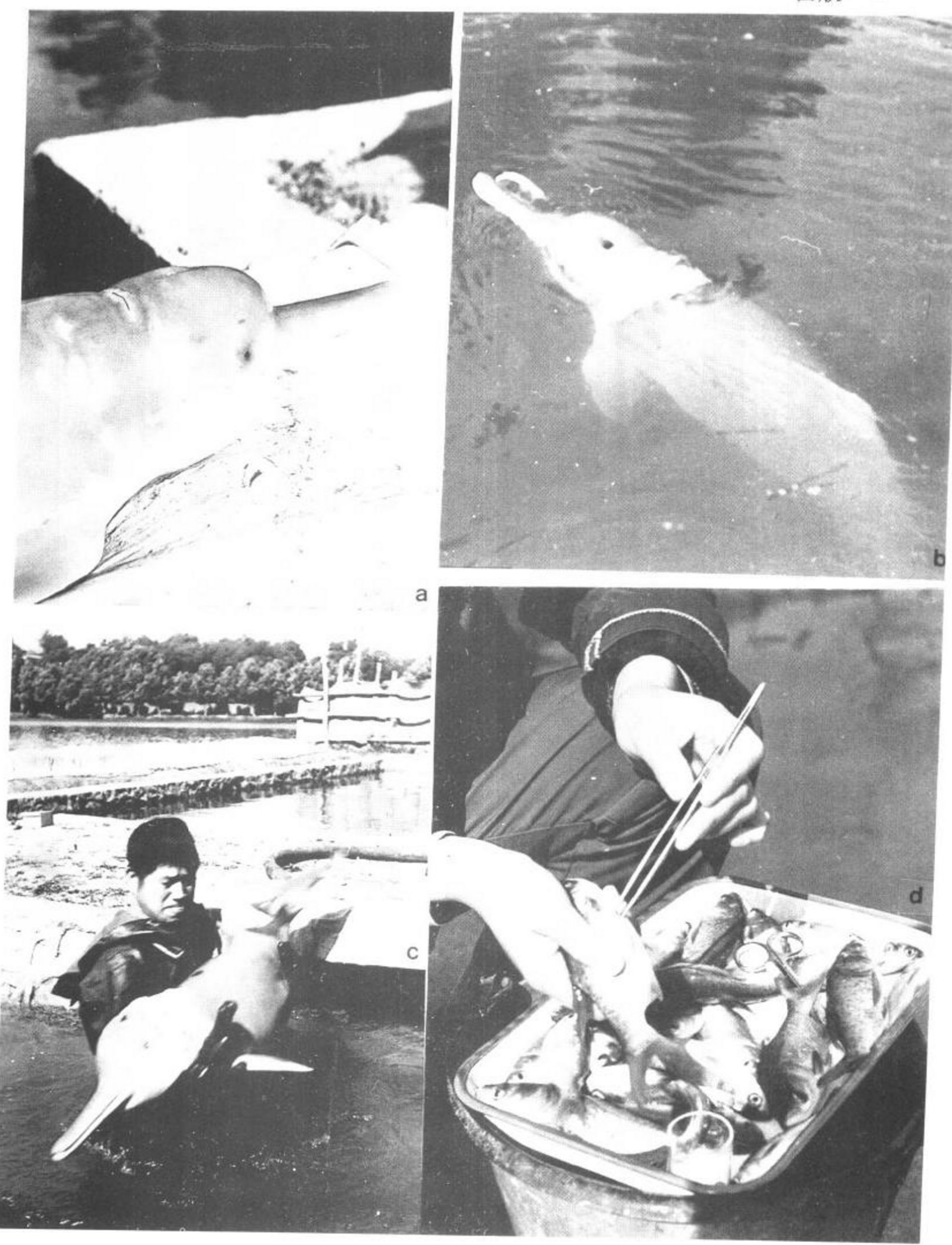
A. 滚钩钩伤致死 Death by hooks；B. 螺旋桨击中体中部致死 Death by propeller；C. 螺旋桨击中头部致死 Death by propeller.



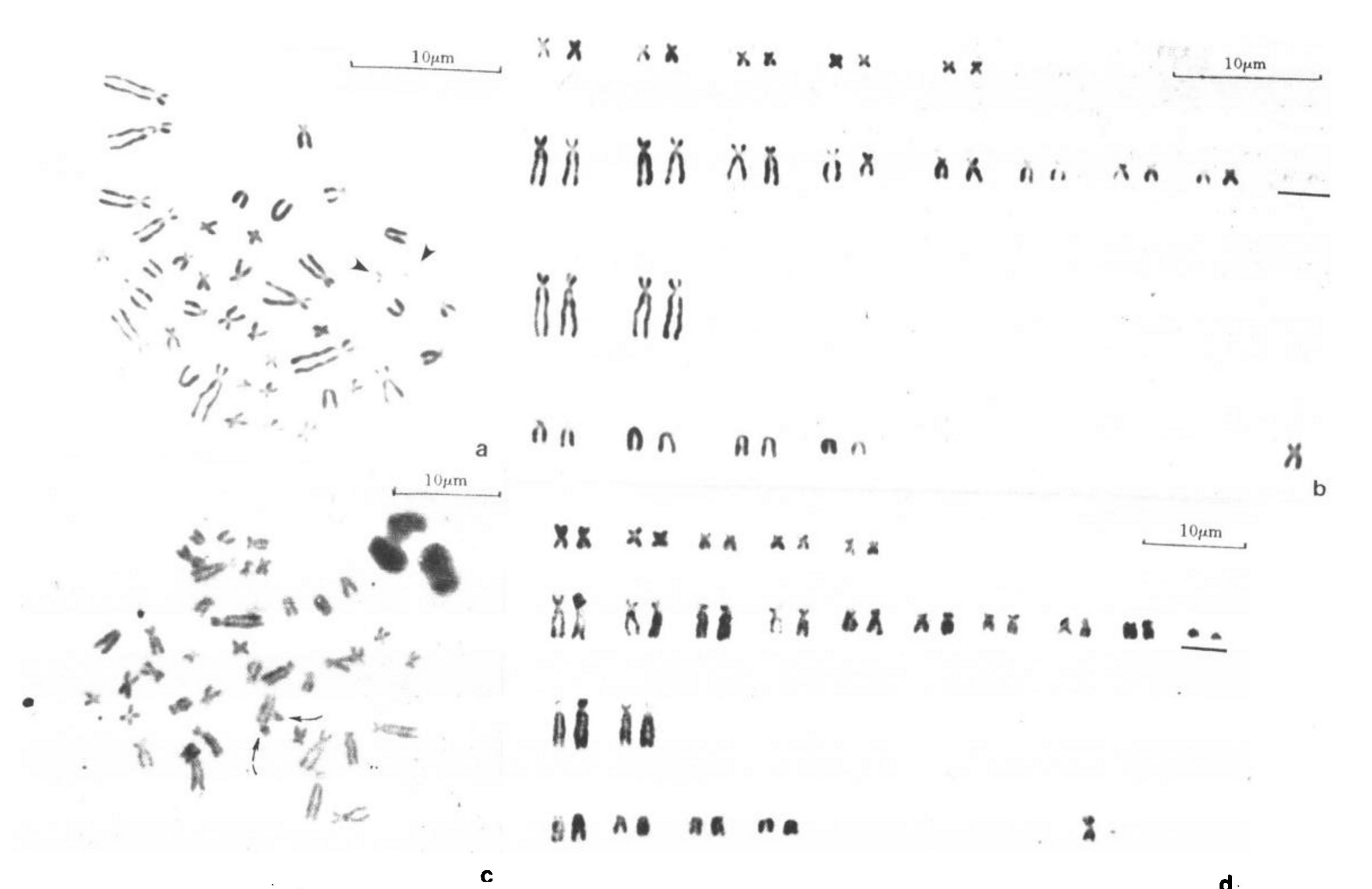
A. 中国科学院水生生物研究所考察船　The survey ship of Institue of Hydrobiology, CAS; B. 长江白鳖豚栖居环境　The habiat of Baiji in changjiang; C. 科研人员在搜索白鳖豚　The scientists of Institue of Hydrobiology on the ship; D. 大、小考察船在江面上工作　The survey ship and boats working on Changjiang.



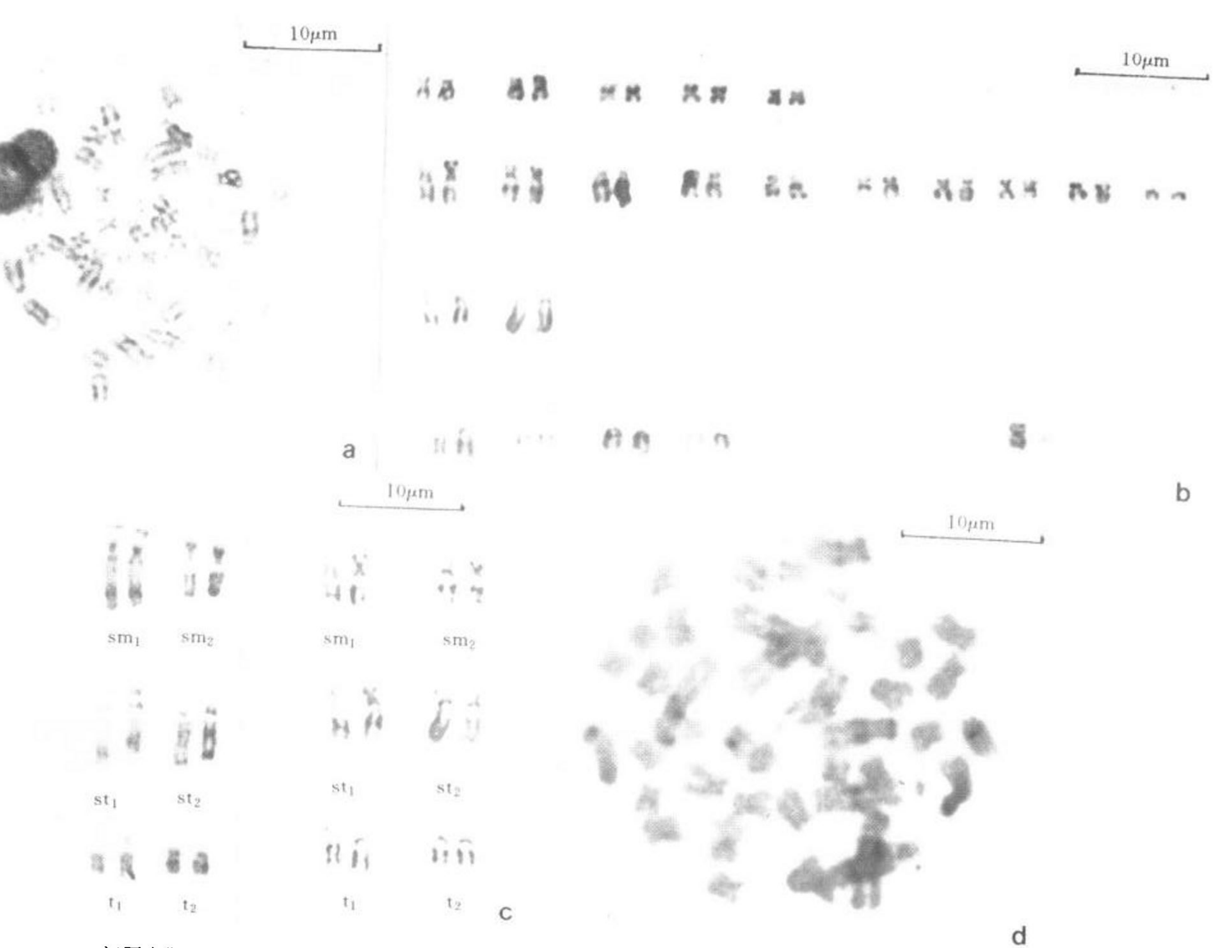
a. 摄食训练 Feeding training; b. 人工饲养的白鱀豚“淇淇” Baiji in captivity; c. 白鱀豚起水体检 Baiji was being moved out of water for health check; d. 颈背部严重受伤和溃烂时的“淇淇” “Qi Qi” was seriously injured and festered on his nape.



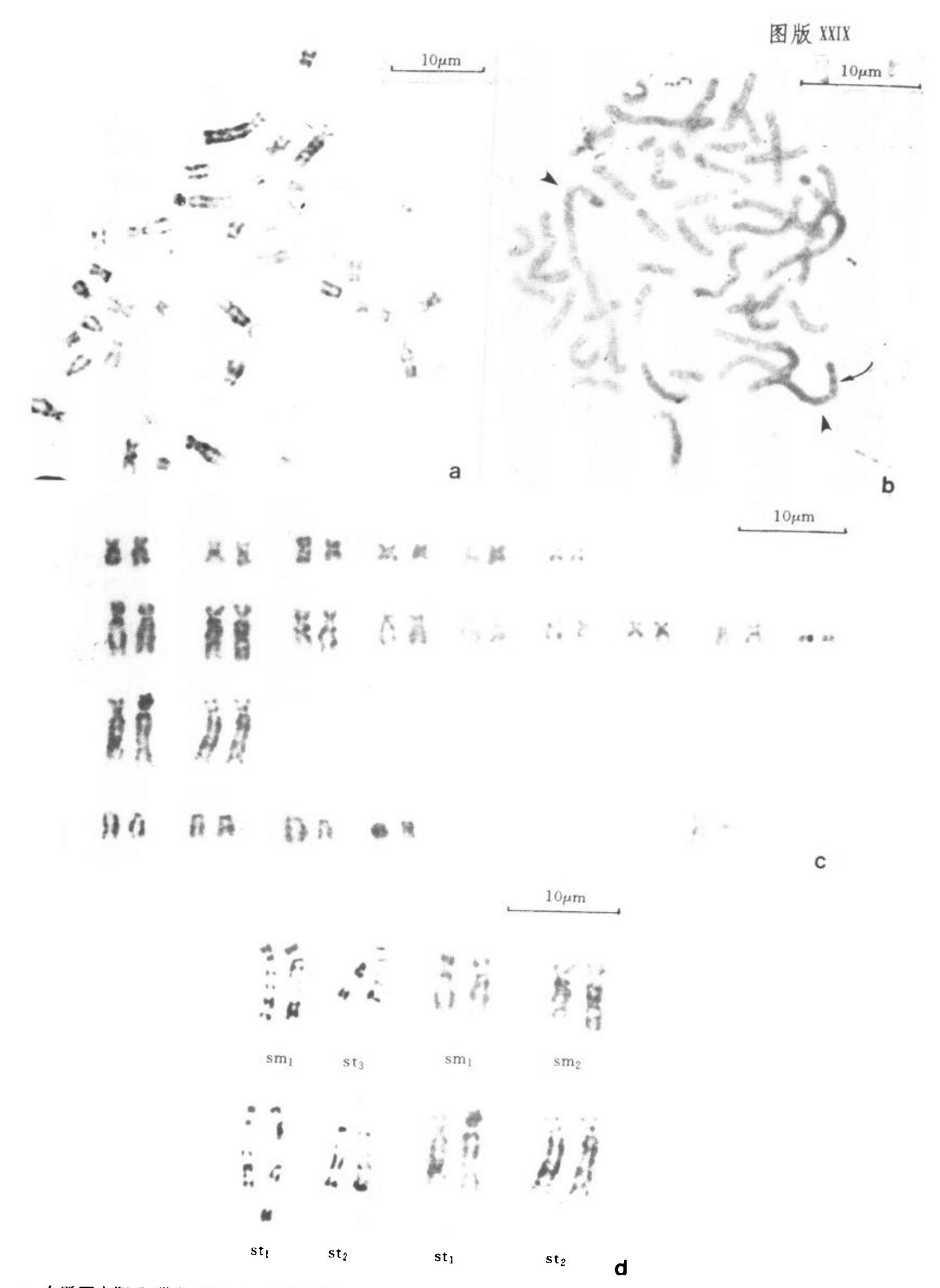
a. 伤愈后的"淇淇" The wounds of the dolphin were healthed; b. 绷带包扎后的"淇淇"在水中正常摄食 The dolphin with the special bandage catches fish in the pool; c. 特别绷带包括后的"淇淇" A special bandage in the form of a vest was applied to the wounds; d. 给"淇淇"增加营养药 Giving vitamin to the forage fish for "Qi Qi".



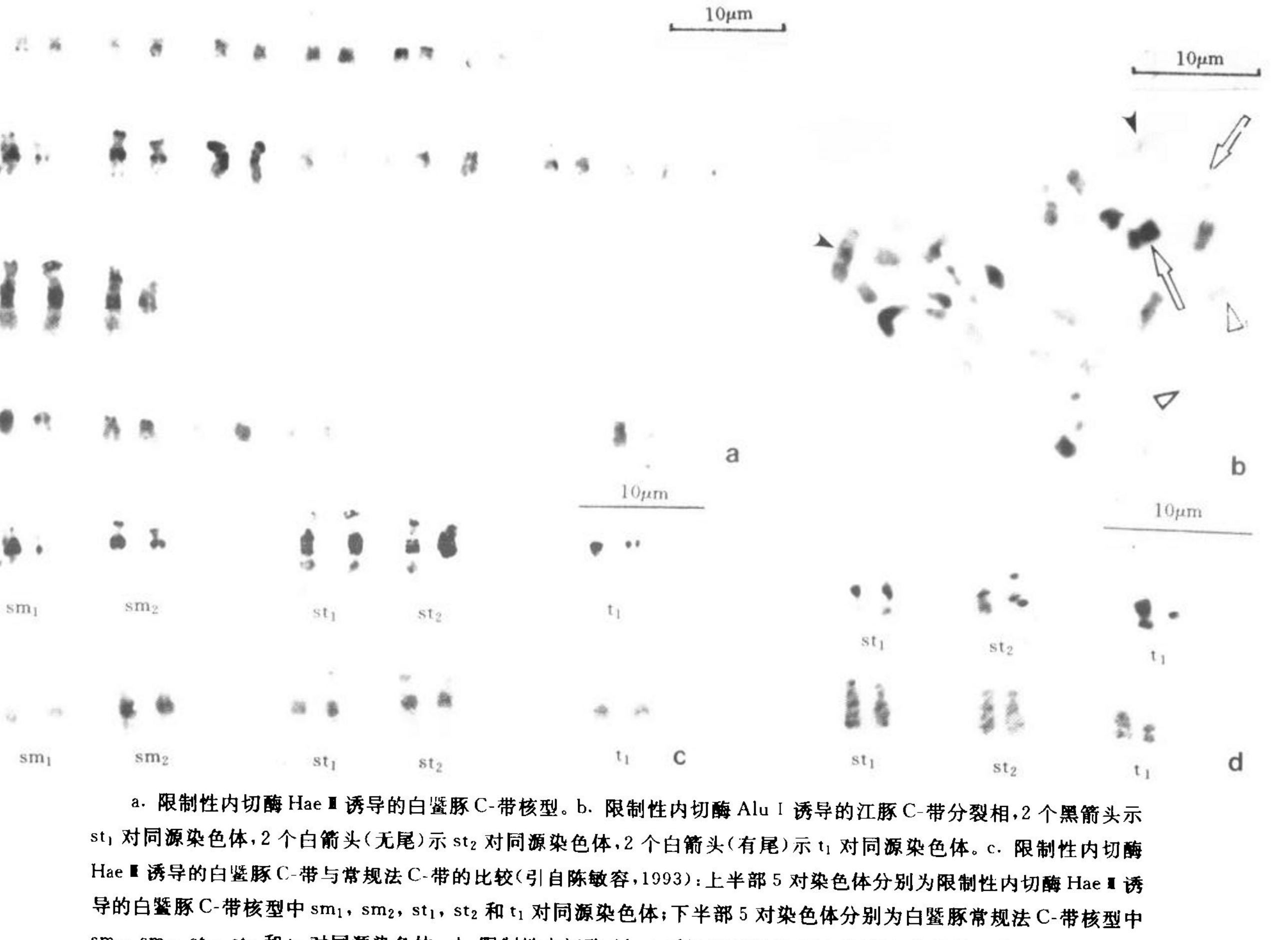
a. 白鳖豚中期分裂相，箭头所指为最小一对染色体；b. 白鳖豚核型，横线所指为最小一对染色体；c. 江豚早中期分裂相，箭头所指为最小一对染色体联合；d. 江豚核型，横线所指为最小一对染色体。



a. 江豚中期G-带分裂相。b. 江豚中期分裂相G-带核型。c. 江豚与斑原海豚4对较长染色体以及7组中2对染色体的G-带比较；左半边6对分别为斑原海豚sm_1，sm_2，st_1，st_2，t_1，t_2对同源染色体；右半边6对分别为江豚的sm_1，sm_2，st_1，st_2，t_1，t_2对同源染色体。d. 限制性内切酶HaeⅢ诱导的白暨豚C-带分裂相。

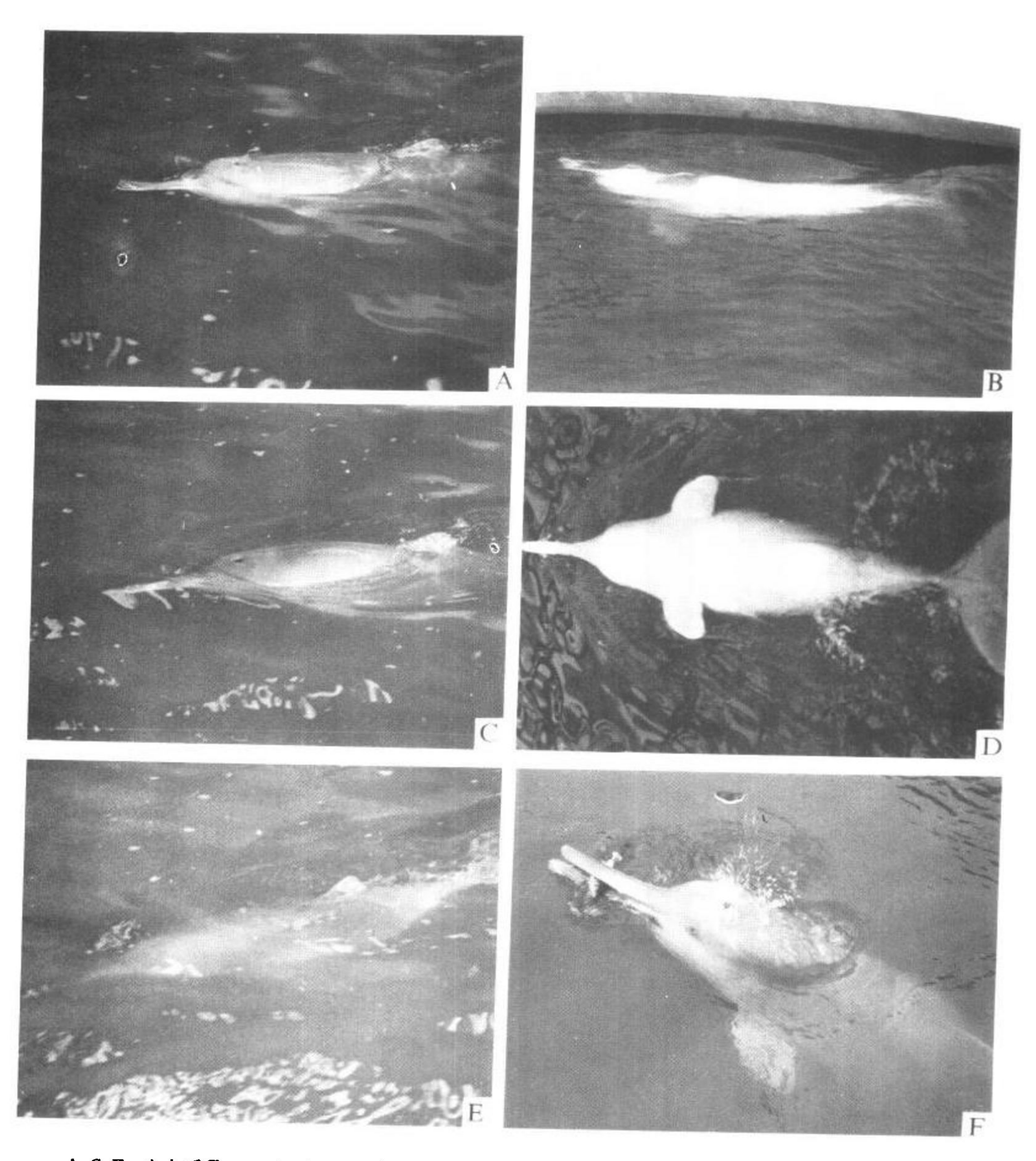


a. 白鳖豚中期 G-带分裂相；b. 白鳖豚早期 G-带分裂相，粗箭头示第 16 号染色体，小箭头示短臂中部的一条深染带；c. 白鳖豚中期分裂相 G-带核型；d. 白鳖豚与长须鲸 4 对较长染色体 G-带比较，左半边 4 对分别为长须鲸的 sm_1，st_3，st_1 和 st_2 对同源染色体；右半边 4 对分别为白鳖豚的 sm_1，sm_2，st_1 和 st_2 对同源染色体。

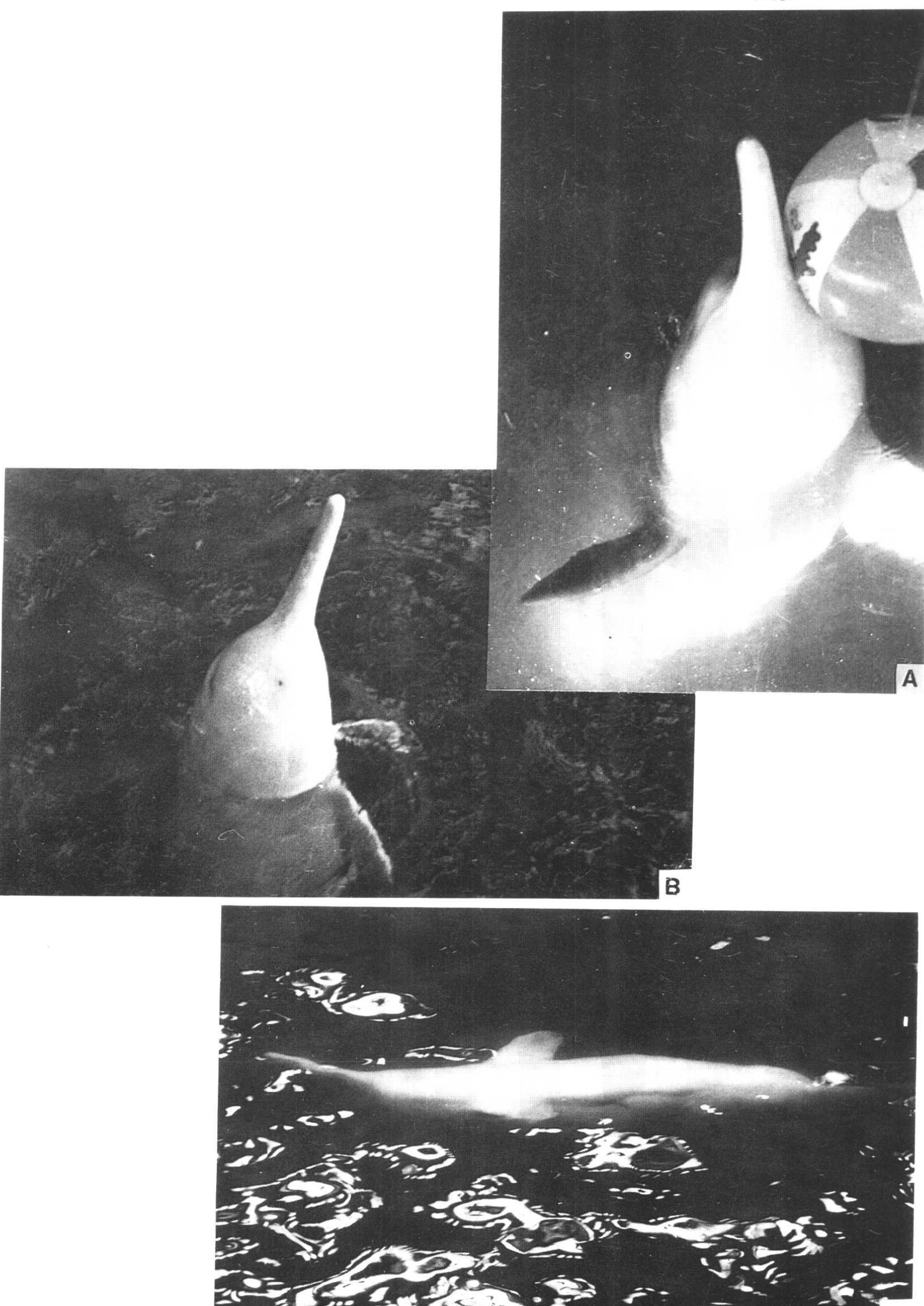


a. 限制性内切酶 Hae Ⅲ 诱导的白鳖豚 C-带核型。b. 限制性内切酶 Alu Ⅰ 诱导的江豚 C-带分裂相，2 个黑箭头示 st_1 对同源染色体，2 个白箭头（无尾）示 st_2 对同源染色体，2 个白箭头（有尾）示 t_1 对同源染色体。c. 限制性内切酶 Hae Ⅲ 诱导的白鳖豚 C-带与常规法 C-带的比较（引自陈敏容，1993）：上半部 5 对染色体分别为限制性内切酶 Hae Ⅲ 诱导的白鳖豚 C-带核型中 sm_1，sm_2，st_1，st_2 和 t_1 对同源染色体；下半部 5 对染色体分别为白鳖豚常规法 C-带核型中 sm_1，sm_2，st_1，st_2 和 t_1 对同源染色体。d. 限制性内切酶 Alu Ⅰ 诱导的江豚 C-带与常规法 C-带的比较（引自张锡然，1989）：上半部 3 对染色体为限制性内切酶 Alu Ⅰ 在江豚 sm_1，sm_2 和 t_1 对同源染色体上诱导的 C-带；下半部 3 对染色分体为江豚常规法 C-带核型中 sm_1，sm_2 和 t_1 对同源染色体。

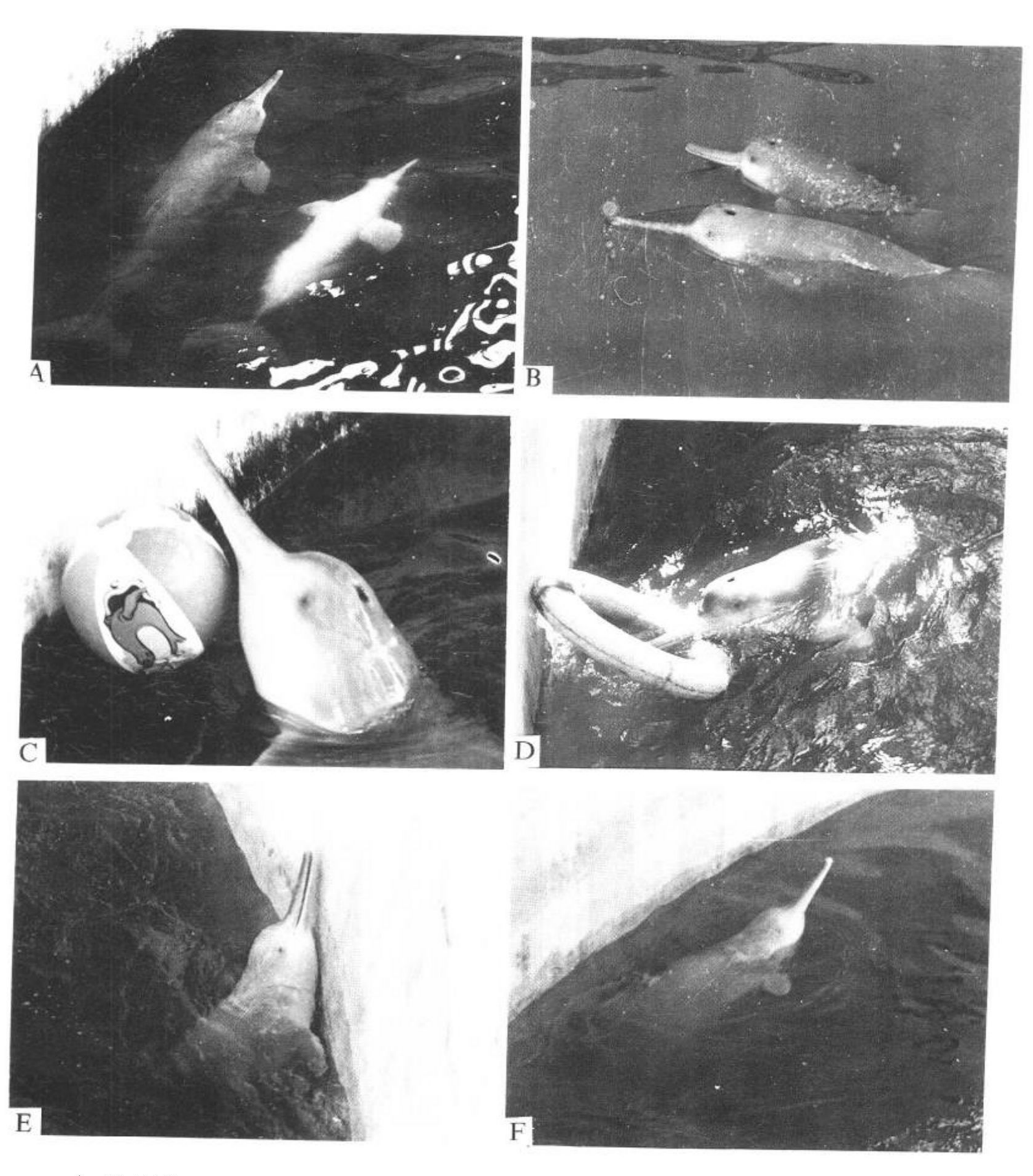
图版 XXXII



A,C,E. 出水呼吸 respiration; B. 侧游 Swimming in lateral style; D. 仰游 Swimming in supine style; F. 捕食 ingestion.



A,B. 直立 Standing; C. 浮卧 Drifting in supine position.



A. 顺时针游和仰游 Clockwise swimming and belly-up swimming; B. 逆时针游 Counterclockwise swimming; C. 玩球 Playin with a plastie ball; D. 玩圈 Playing with a plastic ring; E. 性行为 Sexual behaviour; F. 食前行为 behaviour before feed.

A. 长江江豚的体色较深(上) The darker color of the porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) from the river (upper), 沿海江豚的体色较浅(下) The lighter color of the porpoise from coastal waters of China (bottom); B. 江豚分娩 Parturition of the porpoise; C. 江豚的上下颌 upper and lower jaw of the porpoise; D. 江豚齿纵切片 longitudinal section of tooth of the porpoise.

白鱀豚纪念品　The souvenirs of Baiji

责任编辑：高　锋
封面设计：槐寿明



ISBN 7-03-005650-7
Q · 675

定　价：66.00 元